



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE**

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**VLIV DÉLKY OBLOUKU NA HLOUBKU SVARU**

THE INFLUENCE OF THE LENGTH OF ARC ON THE DEPTH OF THE WELD

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

Tomáš Holas

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

Ing. Jaroslav Kubíček

**BRNO 2021**

# Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie  
Student: **Tomáš Holas**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Strojírenská technologie  
Vedoucí práce: **Ing. Jaroslav Kubíček**  
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## Vliv délky oblouku na hloubku svaru

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Tavné svařování je nejrozšířenější metoda nerozebíratelného spojování kovů. Technologie obloukového svařování metody TIG je výrazně závislá na stabilitě a délce elektrického oblouku. Bakalářská práce je zaměřena na hodnocení vlivu délky elektrického oblouku a sklonu wolframové elektrody na hloubku průvaru u uhlíkové a korozivzdorné oceli.

### Cíle bakalářské práce:

- vypracovat literární studii svařování metodou TIG,
- posoudit parametry svařování, které mají vliv hloubku průvaru,
- navrhnout a experimentem optimalizovat parametry,
- provést a vyhodnotit experiment.

### Seznam doporučené literatury:

DVOŘÁK, Milan a kolektiv. Technologie II, 2. vyd. CERM Brno, 7/2004, 237s. ISBN 80-214-2683-7.

KOLEKTIV AUTORŮ. Materiály a jejich svařitelnost, 1. vyd. Zeross, Ostrava 2001, 292s. ISBN 80-85771-85-3.

KOLEKTIV AUTORŮ. Technologie svařování a zařízení, 1. vyd. Zeross, Ostrava 2001, 395s. ISBN 80-85771-81-0.

KOLEKTIV AUTORŮ. Navrhování a posuzování svařovaných konstrukcí a tlakových zařízení, 1. vyd. Zeross, Ostrava 1999, 249s. ISBN 80-85771-70-5.

KOLEKTIV AUTORŮ. Výroba a aplikované inženýrství ve svařování, 1. vyd. Zeross, Ostrava 2000, 214s. ISBN 80-85771-72-1.

ONDREJČEK, Peter. Zváranie ocelí v ochrane plynov taviacou sa elektródou, 1. vyd. ETERNA PRESS s.r.o. Bratislava 2003, ISBN 80-968359-5-5.

ASM handbook Welding, brazing, and soldering Volume 6. 10th editon. Materials Park, Ohio: ASM International, 2016. ISBN 978-0871703828.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Holas Tomáš: Vliv délky oblouku na hloubku svaru.

Tato bakalářská práce se zabývá, jaký dopad bude mít změna délky svařovacího oblouku na hloubku svaru. Svařované materiály byly nízkouhlíková ocel a austenitická korozivzdorná ocel. Svařovalo se metodou MIG a TIG.

Klíčová slova: hloubka závaru, nízkouhlíková ocel, korozivzdorná ocel, TIG

## **ABSTRACT**

Holas Tomáš: The influence of the length of arc on the depth of the weld.

In this bachelor thesis I observe the influence of changing the length of the welding arc on the depth of the weld. Welding materials were low carbon steel and austenitic corrosion resistant steel. It was welded by MIG and TIG methods.

Keywords: weld depth, low carbon steel, corrosion resistant steel, TIG

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

HOLAS, Tomáš. *Vliv délky oblouku na hloubku svaru*. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132399>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Ing. Jaroslav Kubíček.

## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V Brně dne 21. 5. 2021

.....

Podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji Ing. Jaroslavu Kubíčkovi, za cenné rady, připomínky a čas, který mi poskytl při vypracování bakalářské práce.

Velmi děkuji také svým rodičům, kteří mě při studiu podporovali. Přátelům a blízkým, kteří mi při psaní práce byli oporou, patří taktéž značné díky

# **OBSAH**

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

ÚVOD [1] [3] [4] [14] .....9

1 SVAŘOVÁNÍ METODOU TIG (WIG) [1], [4], [7], [10], [11], [12], [13], [14], ..... 10

1.1 Svařování stejnosměrným proudem [1], [4], [11] ..... 11

1.2 Svařování střídavým proudem [1], [4], [11] ..... 11

1.3 Svařování impulsním proudem [1], [4], [11] ..... 11

1.4 Netavící se elektroda [1], [4], [11] ..... 12

1.5 Ochranné plyny [1], [4], [11] ..... 12

2 SVAŘOVÁNÍ METODOU MIG, MAG [1], [4], [7], [8], [9], [10], [12], [14], ..... 14

2.1 Způsoby přenosu kovu v oblouku [1], [4], [11], [14], ..... 15

2.2 Parametry a podmínky svařování [1], [4], [11], [14] ..... 18

2.2.1 Svařovací napětí [1], [4], [11], [14] ..... 18

2.2.2 Svařovací proud [1], [4], [11], [14], [15] ..... 19

2.2.3 Proudová hustota [1], [4], [11], [14], [15] ..... 19

2.2.4 Volná délka drátu (výlet drátu) [1], [4], [11], [14], [13], [15] ..... 19

2.3 Polohy a technika svařování [1], [4], [11], [14], [15], [16] ..... 21

3 NÁVRH EXPERIMENTÁLNÍ PRÁCE ..... 22

3.1 Rozbor svařovaných materiálů [17], [18] ..... 22

3.1.1 Ocel S 355 JR (dle norem ČSN 11523) [17] ..... 22

3.1.2 Legovaná ušlechtilá ocel 1.4301, (ČSN 17 240, AISI 304 ) [18], [19] ..... 22

3.2 Svařování metodou TIG ..... 23

3.2.1 Výběr svařovacího zařízení ..... 24

3.3 Svařování metodou MAG ..... 25

3.3.1 Výběr svařovacího zařízení ..... 25

3.4 Rozbor vzorků ..... 26

3.5 Výsledky a vyhodnocení vzorků ..... 29

ZÁVĚRY ..... 36

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratek

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Seznam příloh



## ÚVOD [1] [3] [4] [14]

Svařování, jako proces spojování dvou až tří materiálů v trvalý, nerozebíratelný celek, je důležitou částí téměř všech výrobních oborů. Ve strojírenském, automobilovém a stavebním průmyslu má tato technologie nezastupitelnou roli. Svařování je z velké části robotizováno a mechanizováno.

Největší rozvoj a rozmach začal díky tavným metodám sváření (obr.1). Do této skupiny patří dnes nejrozšířenější a nejpoužívanější metody svařování, MIG, MAG, TIG, svařování trubičkovou elektrodou a další. Díky velkému množství možností svařovacích metod, lze svařovat materiály stejných i různých vlastností, korozivzdorné i nekovové materiály a také se klade větší důraz na kvalitu, pevnost, vzhled a tvar výsledného svaru. Parametry ovlivňující výsledný svar a zejména hloubku průvaru jsou svařovací proud, napětí a délka oblouku. Tyto parametry ovlivňují zásadně výsledný profil svaru a jejich změnou lze měnit jeho tvar.

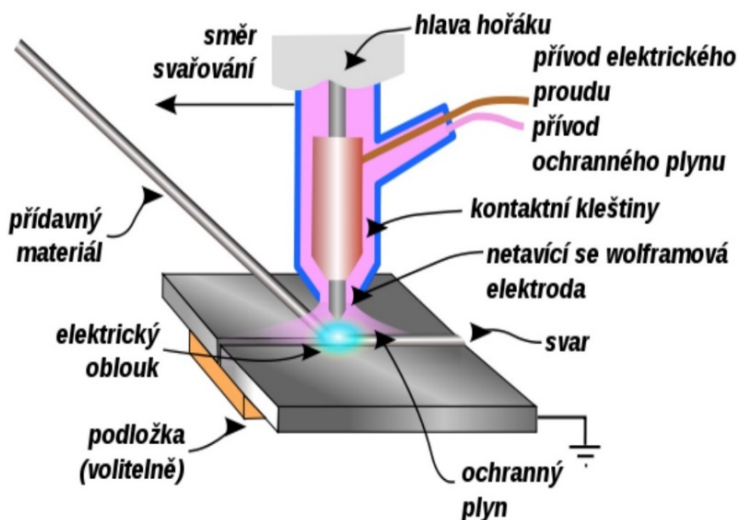


Obr. 1 Robotizované svařování, svařování metodou MAG a TIG [3][4]

# 1 SVAŘOVÁNÍ METODOU TIG (WIG) [1], [4], [7], [10], [11], [12], [13], [14],

Metoda obloukového svařování netavící se elektrodou v ochranném plynu TIG (Tungsten Inert Gas welding) a WIG (Wolfram Inert Gas) je naznačena na obr. 2. Oba názvy patří též metodě. Zkratka WIG k nám přešla z Německa a W značí wolfram.

V průběhu svařování hoří oblouk mezi netavící se elektrodou a základním materiálem. Elektroda je odolná vůči teplotě a musí vydržet svařovací teploty, aniž by se odtavila. Wolframové elektrody plní tyto nároky velmi dobře díky vysokému bodu tání čistého kovu (3 380 °C). Přídavný materiál je do oblouku podáván samostatně ručně, automaticky, nebo proces probíhá pouze roztavením a slitím základních materiálů. Jako ochranné, inertní plyny jsou zde nejvíce využívány vzácné plyny: argon (Ar), helium (He) nebo jejich kombinace. Plyny zabráňují nechtěným chemickým reakcím s kapalnou tavnou lázní a ohřátým materiálem, což vede k vysoce kvalitním svarovým švům. Schéma svařovací aparatury metodou TIG je na obrázku 3.



Obr. 2 Schéma svařování metodou TIG [4]

Klady metody svařování TIG

- Nedochází k tvorbě svařovacích rozstříků,
- na pohled jde o mimořádně kvalitní svarové švy,
- malá tepelně ovlivněná oblast a minimální deformace,
- oblouk je stabilní v širokém rozsahu svařovacích proudů,
- lze svařovat ve všech svarových polohách.

Zápory metody TIG

- Dosahuje se menších rychlostí svařování než u MIG/MAG,
- vysoká náročnost na čistotu a chemické složení přídavného materiálu, což se odráží na ceně.



Obr. 3 Konstrukce svařovacího systému TIG [11]

1. Sítové připojení
2. Svařovací zdroj
3. Hadicové vedení
4. Zemnicí kabel
5. Svařovací hořák
6. Uzemňovací svorka
7. Základní materiál
8. Přídavný materiál

## 1.1 Svařování stejnosměrným proudem [1], [4], [11]

Svařování stejnosměrným proudem je nejčastější a základní způsob zapojení, tj. přímé zapojení (obr. 4a). Elektroda je při tomto zapojení spojena se záporným pólem zdroje a svařovaný materiál je připojen ke kladnému pólu. Díky nerovnoměrnému rozdělení tepla v oblouku připadají dvě třetiny celkového tepla na svařovaný materiál a jedna třetina na elektrodu. Elektroda není díky tomu přetěžována a ve svařovaném materiálu vzniká velká hloubka závaru. Na velikosti hloubky závaru se i podílí elektrony, které přeměňují svoji kinetickou energii na tepelnou. Toto zapojení je vhodné téměř pro všechny oceli, mědi, slitiny na bázi niklu, titanu a pro navařování tvrdých vrstev. Využívá se i pro svařování hliníku. Díky velkému množství vneseného tepla do svarové lázně se povrchové oxidy stahují na okraje taveniny a střed lázně zůstává čistý. Využívá se u hliníkových odlitků a svařenců. Umožňuje svařování silnostěnných i tenkostěnných profilů.

Naopak u nepřímého zapojení (obr. 4b) je velká tepelná zátěž na elektrodu, a tudíž se používá jen výjimečně na svařování tenkostěnných svařenců z hliníku. Výhodou této metody je, že díky schopnosti vzniku katodové skvrny lze čistit materiály. Skvrna odpařuje povrchové oxidy a tím vniká čistý povrch.

## 1.2 Svařování střídavým proudem [1], [4], [11]

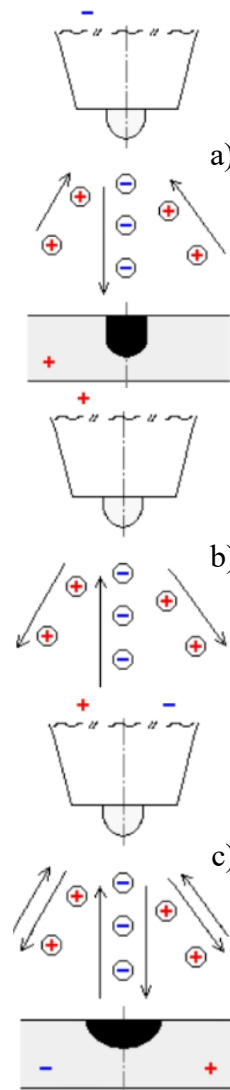
U svařování střídavým proudem dochází k periodickému střídání polarity. Díky tomu lze využívat výhod nepřímého i přímého zapojení, tzv. přímé a nepřímé polarity (obr. 4c). Využívá se hlavně při svařování hliníku, kde na povrchu vzniká oxid  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , který má vysokou teplotu tání  $2050^\circ\text{C}$  a teplota roztaveného hliníku je  $658^\circ\text{C}$ . Svařovací zařízení mají funkci balance, která umožňuje dle potřeby zúžení nebo rozšíření kladné, případně záporné periody proudu.

## 1.3 Svařování impulzním proudem [1], [4], [11]

Při svařování impulzním proudem se intenzita proudu pravidelně s časem mění mezi dvěma hladinami. Mezi základním proudem  $I_z$  jehož hodnota nízká a impulsním proudem  $I_p$ .

Hodnota základního proudu se pohybuje v rozmezí 10 až 15 A a má za úkol zajistit ionizaci plynu. Jestliže překročí doba základního proudu dvojnásobek doby pulzu, svarová lázeň ztuhne. Využívá se především při svařování vysokolegovaných ocelí. Naopak je tomu u kratší doby trvání základního proudu, kdy lázeň neztuhne, ale změní svůj rozměr.

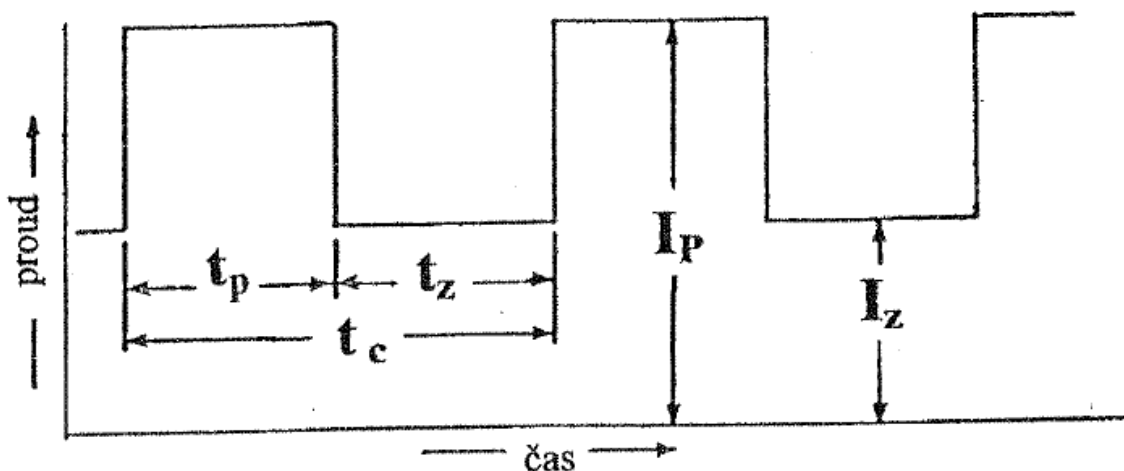
Impulsním proudem v čase  $t_p$  se nataví svarová lázeň a tím i přídavný materiál. Díky regulaci  $I_p$  lze definovat rozměry svarové lázně a vnesené teplo. Průměrná hodnota proudu při impulsním svařování je nižší než u klasického svařování, a proto tepelně ovlivněná oblast je



Obr. 4 Přímé a nepřímé zapojení, střídavá polarita [4]



malá a svary mají výborné plastické vlastnosti. Nejsou náchylné na praskání a deformace. Znázornění průběhu proudu při impulzním svařování je na obr. 5.



Obr. 5 Průběh impulsního proudu [2]

#### 1.4 Netavící se elektroda [1], [4], [11]

Netavící se elektrody používané při svařování TIG, jsou složeny buď z čistého wolframu, nebo za účelem zlepšení jejich vlastností mohou být dolegovány oxidy kovů: thoria (Th), lanthanu (La), ceru (Ce) nebo zirkonu (Zr). Elektrody se vyrábějí pomocí procesu spékání. Podle různých slitin jsou elektrody označovány různými barvami, jak je znázorněno v tab.1. Různý úhel nabroušení špičky wolframové elektrody má vliv na výsledný tvar svaru.

Tab. 1 Wolframové elektrody [13]

Ozn.el.	Barva	Použití	Proud	Legování
WP	zelená	Hliník	~	čistý wolfram 99,8%
WT 10	žlutá	Nerez	=	thorium 1% ThO <sub>2</sub>
WT 20	červená	Nerez	=	thorium 2% ThO <sub>2</sub>
WT 30	fialová	Nerez	=	thorium 3% ThO <sub>2</sub>
WT 40	oranžová	Nerez	=	thorium 4% ThO <sub>2</sub>
WC 20	šedá	Univerzální	= / ~	cerium 2,0% CeO <sub>2</sub>
WL 10	černá	Univerzální	= / ~	lanthan 1,0% LaO <sub>2</sub>
WL 15	zlatá	Univerzální	= / ~	lanthan 1,5 % LaO <sub>2</sub>
WL 20	modrá	Univerzální	= / ~	lanthan 2,0% LaO <sub>2</sub>
WZ 08	bílá	Univerzální	~	zirkon 0,8% ZrO <sub>2</sub>

#### 1.5 Ochranné plyny [1], [4], [11]

U metody TIG se používají inertní ochranné plyny, které zabezpečují ochranu svarové lázně a její okolí vůči vlivům okolní atmosféry. Chrání především před oxidací a naplyněním. Slouží také pro vytváření podmínek pro snadnější zapalování a stabilní hoření oblouku a pro přenos tepla do svaru. Nejčastěji používanými plyny jsou čistý argon a helium, nebo jejich směsi.

- **Argon**

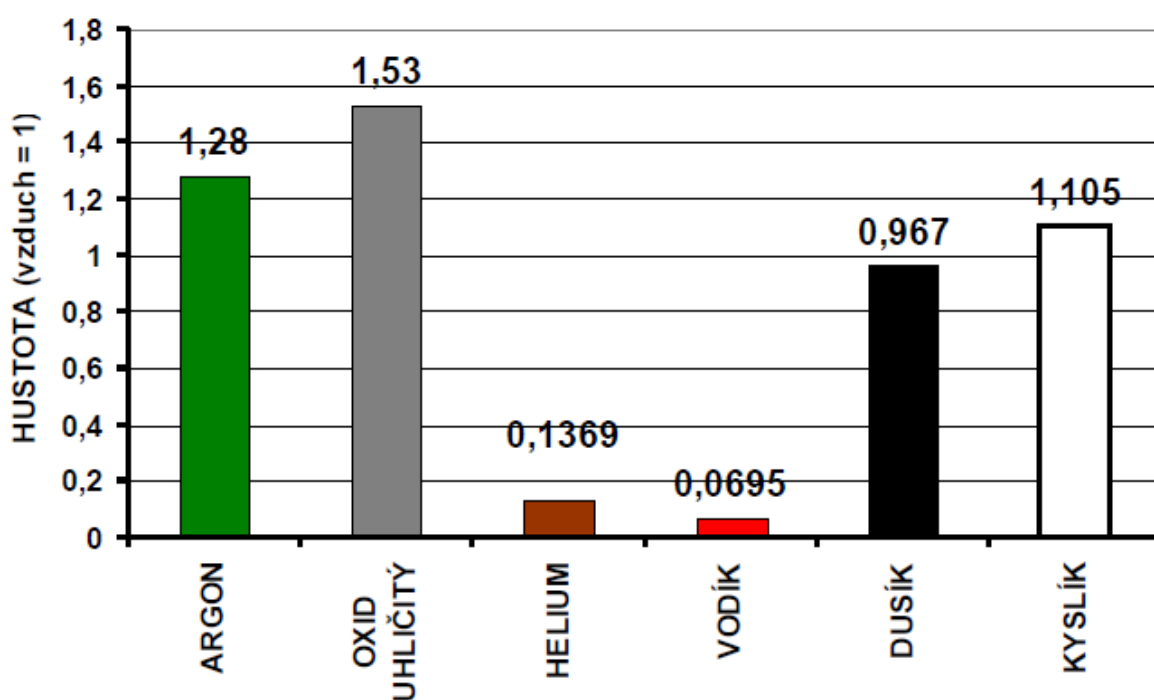
Argon (Ar) je jednoatomový plyn, bez zápachu a bez chuti. Je inertní a nevytváří s žádným prvkem chemické sloučeniny. Lze jej použít na všechny svařované materiály a je nejčastěji používán i z ekonomických důvodů. Standartní čistota argonu je 99,995 %. Některé kovy s vysokou afinitou ke kyslíku, například titan, tantal a zirkon, však vyžadují čistotu argonu 99,999 %. Jelikož má argon malou tepelnou vodivost a relativně nízký ionizační potenciál lze velmi dobře zapalovat a má vysokou stabilitu hoření i při veliké délce oblouku.

- **Helium**

Helium (He) je jednoatomový inertní plyn. Je bez barvy, chuti a zápachu. Kvůli nízké hustotě tohoto plynu (obr. 6) je třeba velký průtok, aby bylo zachována potřebná ochrana. Helium má vůči argonu opačné vlastnosti. Vyšší tepelná vodivost a nižší ionizační schopnost způsobuje, že do svarové lázně se daleko lépe přenáší teplo a vzniká široký profil závaru, ale v důsledku horší stability oblouku se používá pro mechanizované svařování a pro materiály s vysokou tepelnou vodivostí.

- **Směs argonu a helia**

Vytvořením směsi argonu a helia se využívá výhod obou plynů. Pro svařování metodou TIG se používají nejčastěji tyto kombinace: 70% Ar + 30% He, 50% Ar + 50% He, 30% Ar + 70% He. Směsi jsou již namíchány v tlakových lahvích. Směsi argonu a helia se především využívají pro kovy s vysokou tepelnou vodivostí – mědi a hliníku. Při svařování v uvedených směsích se zvyšuje rychlost svařování, hloubka závaru, nebo lze snížit přehřev kovů s vysokou tepelnou vodivostí.



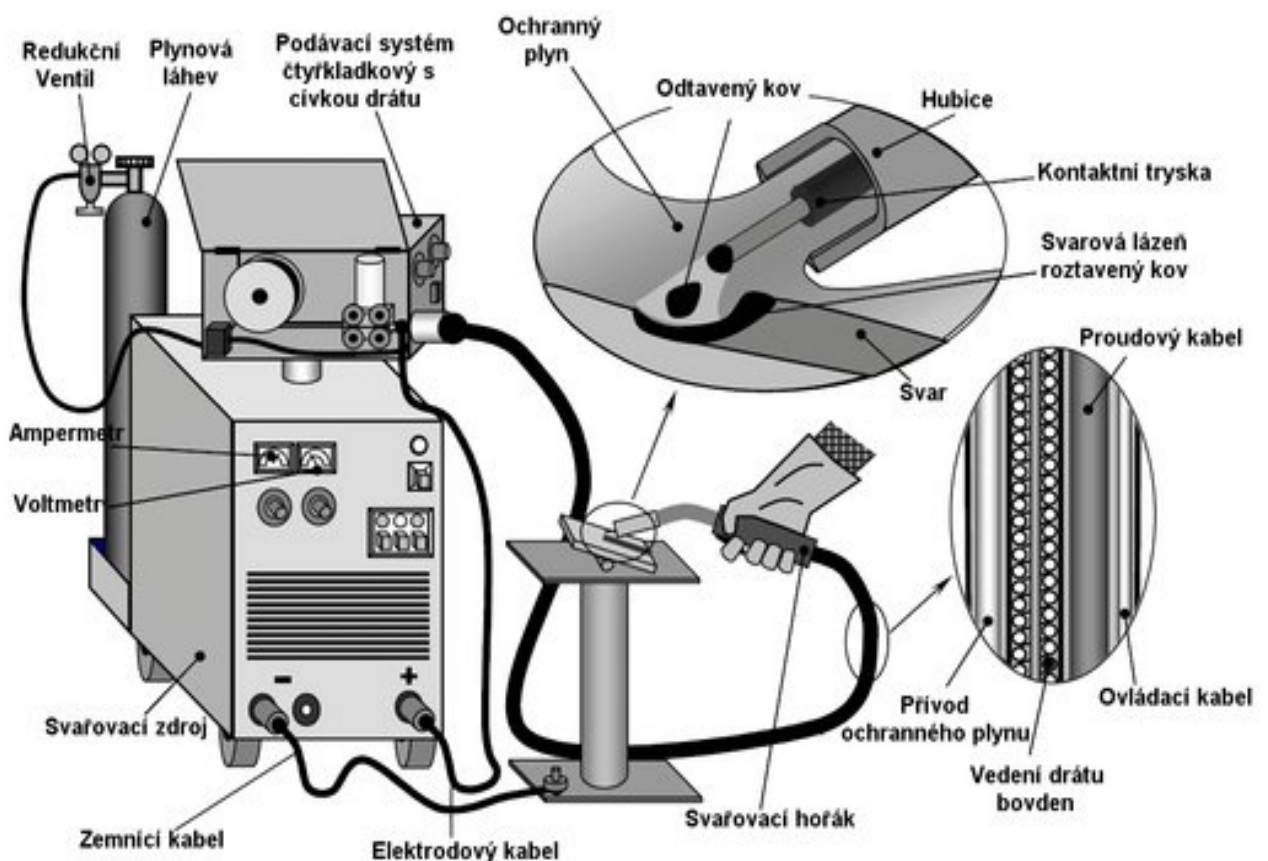
Obr. 6 Graf hustoty plynů [14]

## 2 SVAŘOVÁNÍ METODOU MIG, MAG [1], [4], [7], [8], [9], [10], [12], [14],

Metoda obloukového svařování tavící se elektrodou v ochranném plynu (Metal Inert Gas welding) využívá teplo vytvořené elektrickým obloukem mezi dodávaný drát a svařenec. Během procesu je svarová lázeň a její nejbližší okolí (tepelně ovlivněná oblast) chráněna ochranným plynem a do lázně je přiváděn drát. Přiváděný plyn, který tvoří ochrannou atmosféru, je externím zdrojem a bývá připojen do zdroje, odkud je dopravován do hořáku. Plyn musí být inertní (netečný). Nejčastěji používaný je argon (Ar), helium (He), nebo jejich směs. Schéma zapojení metody MIG, MAG je na obr. 7.

Klady metody svařování MIG

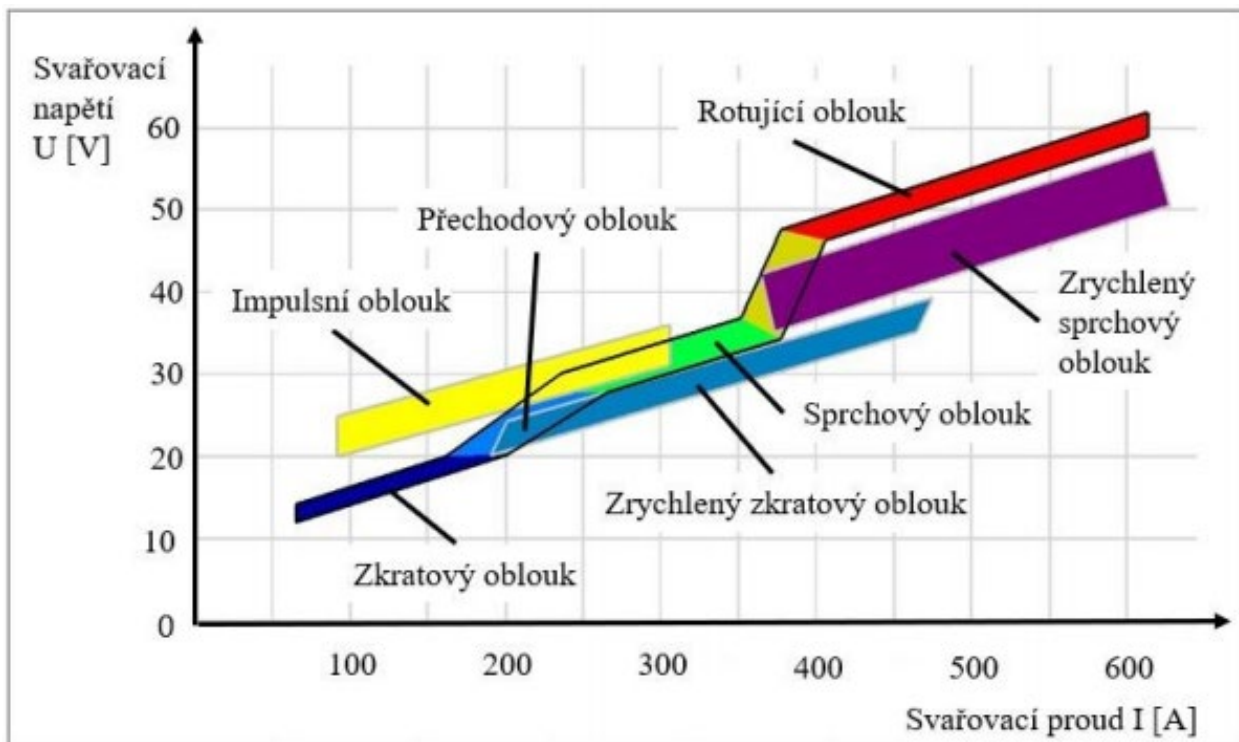
- Svařování ve všech polohách od tloušťky plechu 0,8 mm,
- minimální tvorba strusky na výsledném svaru,
- vysoká efektivita a hospodárnost provádění spojů,
- dobrý profil svaru a hluboký závar,
- nízká pórovitost,
- malý nebo žádný rozstřík kovu elektrody,
- snadná aplikace metody u robotizovaných a mechanizovaných systémů sváření.



Obr. 7 Schéma zapojení metody MAG [8]

## 2.1 Způsoby přenosu kovu v oblouku [1], [4], [11], [14],

Přenos kovu v oblouku patří mezi základní charakteristiky metody svařování elektrickým obloukem tavící se elektrodou a závisí především na svařovacích parametrech, tj. proudu a napětí. Díky nastavení parametrů můžeme ovlivňovat, jaký bude přenos oblouku (obr. 8). Při přenosu dochází k natavení konce elektrody, oddělení a následnému pohybu kapky kovu v oblouku směrem do svarové lázně.

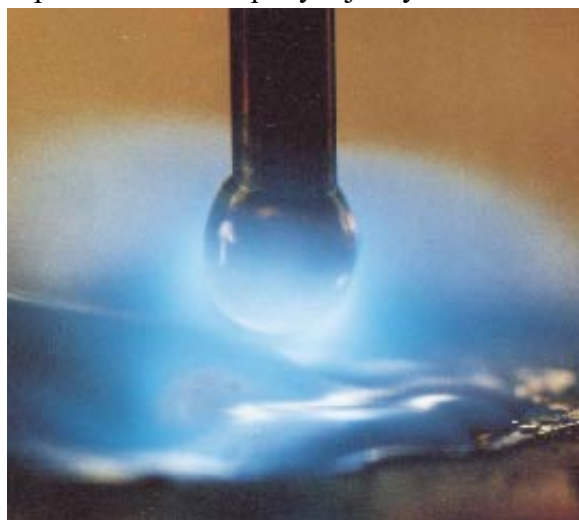


Obr. 8 Způsoby přenosu kovu [14]

### • Krátký oblouk se zkratovým přenosem kovu

Přenos je realizován při relativně nízkém svařovacím napětí 14 až 22 V a proud se pohybuje v rozsahu 60 až 180 A. Při takto nastavených parametrech se pohybuje výkon navaření v rozmezí od 1 do 3 kg.hod<sup>-1</sup>.

U zkratového přenosu se na tavící se elektrodě začne odtavovat kapka kovu (obr. 9), která při doteku se svařovaným materiálem způsobí zkrat a přeruší oblouk. Ve svarové lázni se kapka velmi dobře rozptýlí díky působení povrchového napětí taveniny. Po odtavení oblouk zhasne a opět se zapálí následujícím dotykem kapky o svarovou lázeň. Díky oddělování kapky při vysoké intenzitě proudu dochází k rozstříku taveniny. Při vysokém napětí 25 až 30 V a nižšímu proudu svařování je frekvence kapek malá (asi 5 kapek) a rozstřík kovu velký. Se snižujícím se napětím roste počet zkratů na 150 až 200 za sekundu při 14 až 18 V.



Obr. 9 Krátký zkratový oblouk [14]



Zvuk zkratového přenosu je jemný praskavý tón. Tento druh se vyznačuje drsným praskavým tónem při vysokém proudu, naopak při vyšším napětí se nám vytváří hluboký měkký tón.

- **Krátký oblouk se zrychleným zkratovým přenosem**

Princip je stejný jako u předchozího typu, ale má zrychlený zkratový charakter. Napětí odpovídá konvenčnímu zkratovému přenosu, tj. rozsahu 14 až 25 V, naopak hodnota svařovacího proudu přesahuje 200 A, což odpovídá sprchovému oblouku. Drát se pohybuje vysokou rychlostí do svarové lázně a není tak zde umožněna tvorba velké kapky. Vlivem vysoké hodnoty proudu je však schopen se ohřát na požadovanou teplotu a odtavovat kapky kovu do svarové lázně. Výkon navaření se tak zvýší až na hodnotu od 3 do 10 kg. hod<sup>-1</sup>. Při svařování se musí zvýšit průtok ochranného plynu na 20 až 30 l. min<sup>-1</sup>, protože konec drátu má větší vzdálenost od hořáku (25 až 30 mm) než u zkratového přenosu kovu. Lze jej opět použít pro svařování tenkých plechů (od 1 mm), kořenových vrstev a pro svařování v polohách vyšší rychlostí svařování.

- **Přechodový dlouhý oblouk s nepravidelnými zkraty**

Není moc doporučován, protože vzniklá svarová housenka je velmi hrubá a při svařování se dosahuje velkého rozstříku. Tento typ oblouku nastává při parametrech napětí kolem 22 až 28 V a proudu 190 až 300 A. Při takto vysokém proudu se nám elektroda nataví do velké kapky, ta je reakčním tlakem par plynů vysunuta mimo osu drátu. Jakmile magnetické síly přeruší můstek, kapka je vymrštěna do svarové lázně velkou rychlostí. Na obrázku 10 lze pozorovat přechodový oblouk.



Obr. 10 Přechodový oblouk [15]

- **Dlouhý oblouk se sprchovým bezzkratovým přenosem**

Oblouk je vytvářen v rozmezí napětí 28 až 40 V a proudu 200 až 500 A. Jako ochranný plyn je zde použita směs Ar s CO<sub>2</sub>, popřípadě s O<sub>2</sub>. Kvůli vysokému povrchovému napětí taveniny není možné použít čistý plyn CO<sub>2</sub> neumožnilo by to vytvořit drobné kapky. Obsah Ar by měl být minimálně z 80%, kvůli snadné ionizaci plazmy u konce tavící se elektrody. U sprchového přenosu (obr. 7) oblouk nezhasíná a projevuje se klidným hořením oblouku, vysokým výkonem navaření od 3 do 12 kg. hod<sup>-1</sup> a do základního materiálu se přenáší velké množství tepla. Proto je také sprchový přenos charakteristický velkou hloubkou závaru, která linárně roste s hodnotou proudu. Díky většímu objemu tekutého kovu je možné svařování ve vodorovné poloze a omezeně v dalších polohách. Svařování se projevuje syčením s občasným prasknutím.

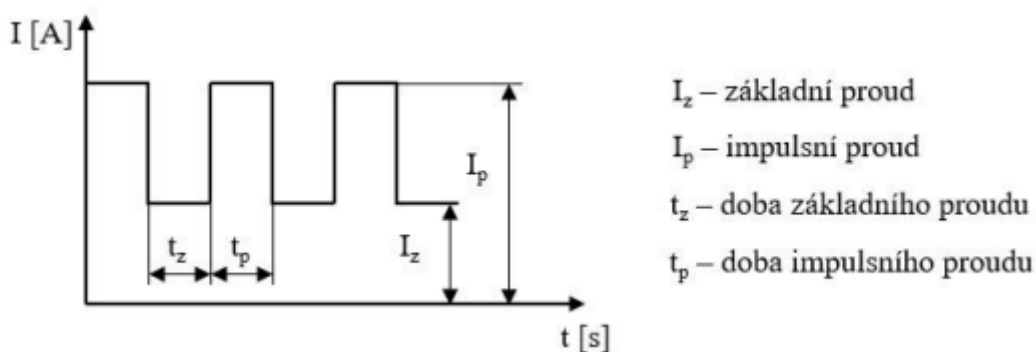


Obr. 11 Sprchový oblouk [14]



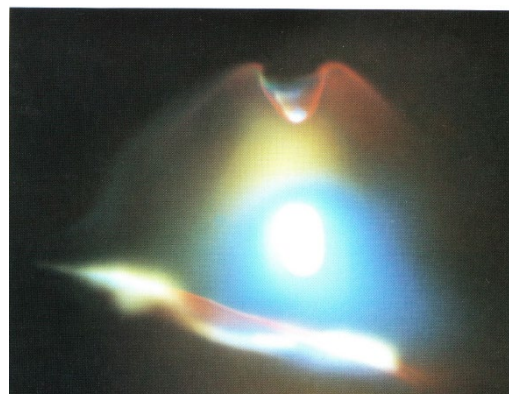
- **Impulzní bezzkratový oblouk**

Jeho průběh je řízen elektronikou cestou a frekvence amplitud impulsního proudu mají pravidelný cyklus. Základní proud je nízký a jeho hodnoty se pohybují od 20 do 50 A (obr. 12).



Obr. 12 Průběh proudu při impulsním svařování [1]

Tento proud udržuje konstantně ionizaci plynu v celém oblouku. Kov je přenášen do svarové lázně pomocí kapek. Při impulsu se odděluje kapka kovu a je kontrolovaně vedena do lázně. Díky závislosti mezi velikostí proudu a frekvencí impulsů se udržuje konstantní velikost kapky. U nízké frekvence impulsů musí být snížen i proud, aby byla velikost kapky co nejoptimálnější. Naopak u vyšších proudů je i vysoká frekvence impulsů. Ta se pohybuje v rozmezí od 25 do 500 Hz a šířka mezi impulsy se pohybuje od 0,2 do 5 ms. Tato metoda poskytuje široké aplikační metody díky možnosti nastavení proudu, napětí, frekvence a amplitudy. Vzniká pravidelná jemná kresba povrchu svaru i kořene a výkon navaření se pohybuje mezi 2 až 5 kg.hod<sup>-1</sup>. Na obrázku 13 lze pozorovat přenos kovu, pomocí pulsního oblouku.



Obr. 13 Impulzní oblouk [14]

- **Moderovaný bezzkratový přenos**

Je to zrychlený sprchový přenos. U tohoto přenosu jsou vysoké svařovací parametry a svařování probíhá při proudech 450 až 750 A a napětí se pohybuje mezi 40 až 50 V. Výkon navaření může díky tomu dosahovat až 25 kg.hod<sup>-1</sup>. Musí se samozřejmě zvýšit i průtok ochranného plynu, který se skládá ze směsi Ar a 8% CO<sub>2</sub>. Velikost odtavující se kapky se může rovnat až průměru drátu a kapka je urychlována vysokou rychlostí do svarové lázně. Lázeň je plazmou oblouku i dopadem kapek tvarována do úzkého a hlubokého závaru.

- **Dlouhý oblouk s rotujícím přenosem kovu**

Svařovací parametry pro daný typ oblouku jsou obdobné jako u zrychleného sprchového přenosu. Jediný rozdíl je v tom, že svařovací napětí se zvýší až na hodnotu 65 V a volný konec PM má délku přes 20 mm. Tento volný konec drátu je vysokou intenzitou proudu ohříván až do plastického stavu a pomocí silového magnetického pole je roztáčen (obr. 14). Kapky roztaveného kovu vytváří kuželovou plochu. Přenos kovu se používá pro strojní (automatické) svařování ocelí větších tlouštěk, protože rotující oblouk vytváří široký závar. Výsledný svar je kvalitní s miskovitým profilem



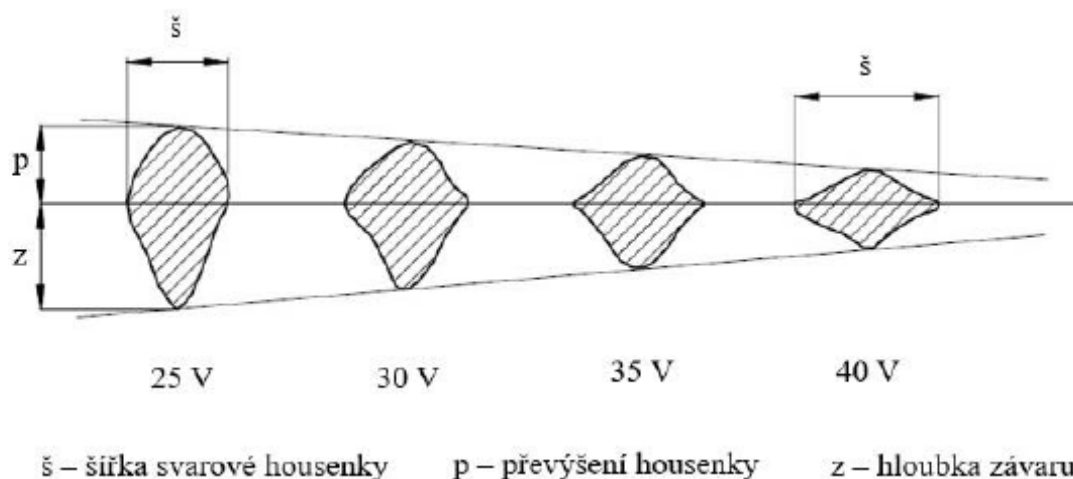
Obr. 14 Rotující oblouk [14]

## 2.2 Parametry a podmínky svařování [1], [4], [11], [14]

Svařovací parametry mají na budoucí výslednou svarovou housenku velký vliv. Aby bylo dosaženo požadovaných mechanických vlastností, musí se najít optimální konfigurace stroje a nastavení svařovacího proudu ( $I$ ), svařovacího napětí ( $U$ ) a svařovací rychlosti ( $v_s$ ). Mezi hlavní parametry a podmínky svařování patří:

### 2.2.1 Svařovací napětí [1], [4], [11], [14]

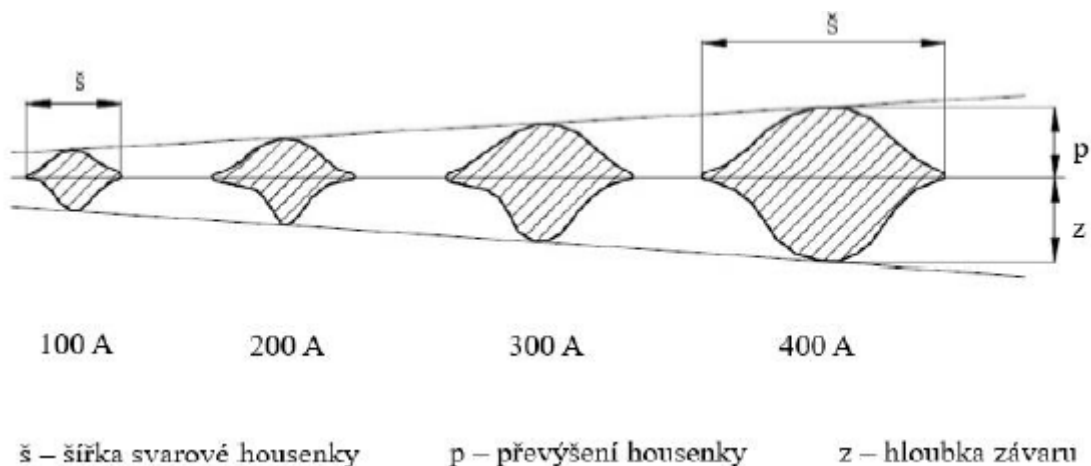
Svařovací napětí představuje rozdíl potenciálů mezi drátem elektrody a povrchem svarové lázně. Hloubku závaru samotné napětí ovlivňuje méně, ale velmi je ovlivněna šířka svarové housenky (obr. 15). Výkon odtavení drátu není ovlivněn tak velkou změnou, jako je to u proudu. Hodnota napětí výrazně ovlivňuje druh přenosu kovu do lázně. Nízké napětí způsobuje převýšení kovu u úzkých housenek zejména, když se svařuje při vysokých rychlostech. Také nedochází k požadovanému protavení svarových ploch a mohou se vyskytnout studené spoje. Naopak při vysokém napětí dochází ke zvýšení délky oblouku. U svařování v polohách je složité ovládat svarovou lázeň kvůli velkému množství svarového kovu. Výsledný svar je náchylný na vznik pórů a velký rozstřík kovu.



Obr. 15 Profil svaru v závislosti na napětí [14]

### 2.2.2 Svařovací proud [1], [4], [11], [14], [15]

Nastavení proudu před svářením se provádí dle norem, tabulky, nebo zkušeností svářeče. Svařovací proud má největší vliv na výsledný svar. S rostoucím proudem se zvedají hodnoty proudové hustoty, odtavovacího výkonu, velikost a tekutost svarové lázně. Proud je přímo úměrný rychlosti podávání drátu. Do značné míry ovlivňuje druh přenosu kovu. Výsledný profil svaru při konstantním napětí za použití vysokého proudu má poměrně malou šířku i převýšení. Naopak má velkou hloubku průvaru. Znázornění vlivu proudu na hloubku závaru je na obr. 16.



Obr. 16 Profil svaru v závislosti na proudu [14]

### 2.2.3 Proudová hustota [1], [4], [11], [14], [15]

Proudová hustota vyjadřuje proudové zatížení drátu s ohledem na jeho průřez neboli dá se vyjádřit jako podíl svařovacího proudu a plochy průřezu drátu. Proto při nízkých hodnotách proudové hustoty dochází ke zkratovému přenosu kovu a při vysokých ke sprchovému přenosu. Důsledek proudové hustoty na průřez svarové housenky je obdobný jako u proudu. Se zvyšující se proudovou hustotou za konstantního napětí roste hloubka závaru.

### 2.2.4 Volná délka drátu (výlet drátu) [1], [4], [11], [14], [13], [15]

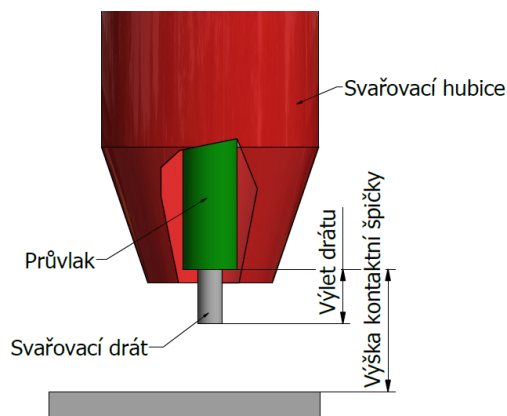
Obecně platí, že výlet drátu je roven desetinásobku průměru drátu. Ovšem délka drátu se mění také dle použitého ochranného plynu, jejíž hodnotu lze přibližně stanovit dle vztahů:

$$l = 5 + 5 \cdot d_d \quad (2.1)$$

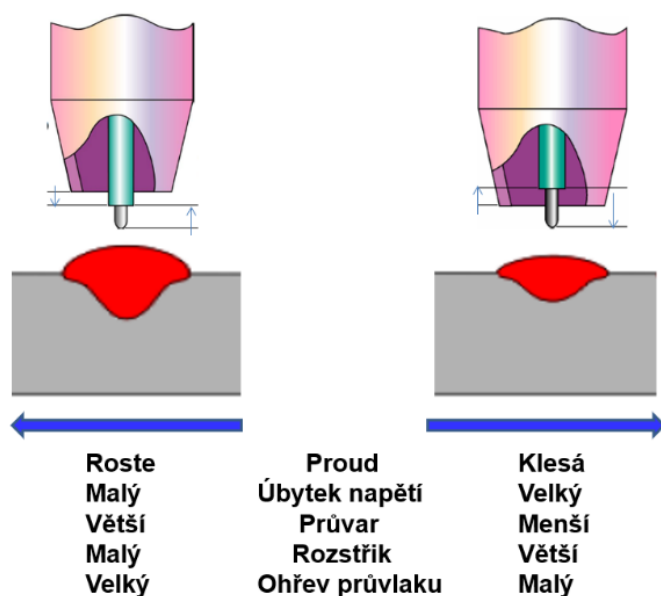
$$l = 8 + 5 \cdot d_d \quad (2.2)$$

kde:  $l$  [mm]      volná délka drátu,  
 $d_d$  [mm]      průměr drátu.

Se zvětšující se vzdáleností špičky drátu a svařovaného materiálu klesá i hodnota proudu. Ten je odebírán na odporový ohřev drátu. Úbytek proudu pak způsobuje i menší průvar, rozstřík kovu a snížení efektivity ochranného plynu. Naopak při malém výletu drátu dochází k tepelnému namáhání hořáku a přehřívání tavné lázně. Na obrázku 15 je znázorněn výlet drátu z průvlaku hořáku.



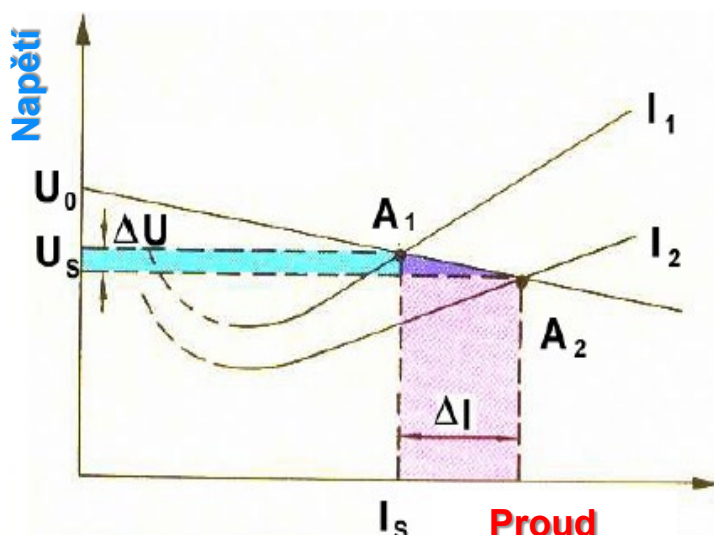
Obr. 17 Výlet drátu z průvlaku



Obr. 18 Vliv délky oblouku na svar [14]

Na obrázku 18 lze vidět, že jakmile se zmenší vzdálenost mezi svarovou lázní a elektrodou, začne se zvyšovat hodnota proudu a tím se začne zvětšovat i průvar. Jelikož průvlak, jímž vylézá drát, se dostává blíže ke svarové lázni, začne se ohřívat a dochází ke snížení jeho životnosti.

Dle grafu na obrázku 19 vyplývá, že malá změna napětí, délky el. oblouku, vyvolá velké změny svařovacího proudu. Lze tedy poměrně jednoduchým způsobem optimalizovat svařovací parametry tak, jak je potřeba.

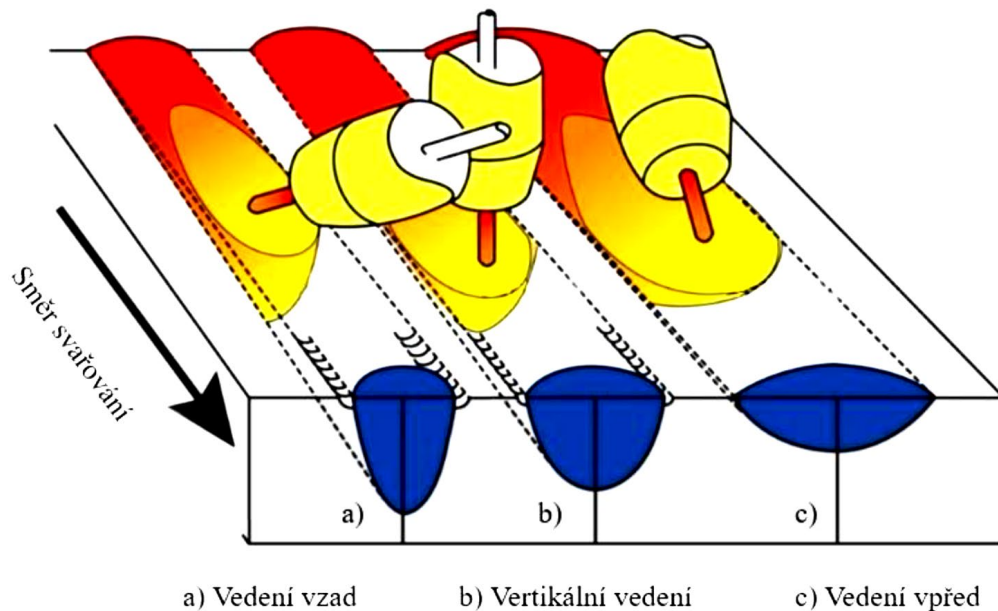


- $U_0$  Napětí na prázdnou
- $U_s$  Napětí při svařování
- $I_k$  Zkratový proud
- $A_1, A_2$  Pracovní body
- $I_1, I_2$  Charakteristika el. oblouku
- $\Delta U$  Rozdíl svařovacího napětí
- $\Delta I$  Rozdíl svařovacího proudu

Obr. 19 Plochá charakteristika el. oblouku [15]

### 2.3 Polohy a technika svařování [1], [4], [11], [14], [15], [16]

Při ručním svařování se používají dvě varianty vedení hořáku. Tlačný způsob vpřed a tažný způsob vzad. U mechanizované výroby je hořák veden v kolmé (vertikální) pozici (obr. 20). U zpětného vedení je výhoda hlubšího závaru oproti vedení vpřed. Nevznikají zde studené spoje ani póry. Tato metoda je vhodná pro svařování tlustostěnných trubek. Mělký a širší svar vzniká při vedení hořáku směrem vpřed. Využívá se pro sváření slabých plechů nebo kořenových vrstev. Výhodou je, že je při svařování výhled do úkosu svaru.



Obr. 20 Polohy vedení hořáku [16]

### 3 NÁVRH EXPERIMENTÁLNÍ PRÁCE

Samotný experiment spočíval v navařování základního materiálu, při kterém byla proměnná délka elektrického oblouku. Konstantní parametr byl proud a svařovací rychlost. Pro porovnání byly použity dva materiály, nízkouhlíková ocel a austenitická korozivzdorná ocel. Po konzultaci s vedoucím práce, se ke svařovací metodě TIG, přidala i metoda MIG. U metody MIG byl posuzován vliv délky oblouku na charakteristice svaru a stability oblouku. Navařovalo se na uhlíkovou ocel. Svařovací část i příprava vzorků v metalografické laboratoři probíhala v dílnách VUT FSI, kde bylo využito školních zařízení.

#### 3.1 Rozbor svařovaných materiálů [17], [18]

Tavné metody svařování v ochranném plynu MIG, MAG a TIG jsou závislé na délce a stabilitě elektrického oblouku. V závislosti na délce oblouku svařování se bude posuzovat hloubka průvarů u uhlíkové oceli S 355 JR a korozivzdorné oceli 1.43 01. Tyto oceli byly vybrány jako zástupci nejpoužívanějších železných materiálů.

##### 3.1.1 Ocel S 355 JR (dle norem ČSN 11523) [17]

Konstrukční nelegovaná ocel, dle normy EN 10027-1 2: 1.0045, má širokou škálu aplikací ve stavebnictví, metalurgii, těžkém a dopravním inženýrství, obráběcích strojích, energetice a mostním průmyslu. Různé profily a kovové konstrukce, části a prvky pozemních a podzemních zařízení jsou vyrobeny z této oceli. V tabulce 2 jsou uvedeny chemické a mechanické vlastnosti.

Tab. 2 Chemické složení a mechanické vlastnosti oceli S355JR [17]

CHEMICKÉ SLOŽENÍ							
Označení	Obsah prvků – ve hmotnosti [%]						
	C	Si	Mn	P	S	N	Cu
S 355 JR	0,27	0,6	1,7	0,04	0,045	0,014	0,6
MECHANICKÉ VLASTNOSTI							
Označení	Minimální mez kluzu [MPa] pro jmenovitou tl. [mm]			Pevnost v tahu [MPa] pro jmenovitou tl. [mm]			
-	≤16	16 - 40	40 - 63	3 - 100	100 - 150	150 – 250	
S 355 JR	355	345	335	470 - 630	450 - 600	450 - 600	

##### 3.1.2 Legovaná ušlechtilá ocel 1.4301, (ČSN 17 240, AISI 304) [18], [19]

Austenitická ocel se sníženým obsahem uhlíku. Tato chrom niklová ocel X5CrNi 18-9 patří mezi nejpoužívanější korozivzdorné oceli. Využití má především v potravinářském, farmaceutickém, mlékárenském a pivovarnickém průmyslu. Ocel je odolná vůči vodě, silným organickým kyselinám a mezikrystalové korozi. Patří do skupiny ocelí s velmi dobrou svařitelností, lze obrábět, ale pouze velmi ostrým nástrojem. Má velmi dobrou tažnost za studena a je dobře leštitelná. V tabulce 3 je uvedeno chemické složení a mechanické vlastnosti.



Tab. 3 Chemické složení a mechanické vlastnosti oceli 1. 4301 [18], [19]

CHEMICKÉ SLOŽENÍ							
Označení	Obsah prvků – ve hmotnosti [%]						
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
1. 4301	< 0.07	< 1	< 2	< 0,04	< 0,03	17-19.5	8-10
MECHANICKÉ VLASTNOSTI							
Označení	Minimální mez kluzu [MPa] pro jmenovitou tl. [mm]			Pevnost v tahu [MPa] pro jmenovitou tl. [mm]			
-	≤ 16	16 - 40	40 - 63	< 8	< 75	< 250	
1.4301	220	210	210	540 - 750	520 - 720	500 - 700	

### 3.2 Svařování metodou TIG

Mezi svařovací parametry, které ovlivňují hloubku průvaru u metody TIG patří rychlost svařování, průtok a složení ochranného plynu, svařovací proud a napětí, délka oblouku mezi materiálem a svařovací elektrodou, poloha svařování, teplota předeřevu atd. V experimentu si svařovací zařízení mění svařovací napětí v závislosti na svařovacím proudu a z tohoto důvodu byl zvolen konstantní proud a konstantní rychlost svařování. Testovaným parametrem byla délka oblouku, která byla jedinou proměnnou. Úhel sklonu elektrody byl nulový.



Obr. 21 Vzorek po odepnutí z přípravku



Obr. 22 Plíšky různé tloušťky

Prvním krokem bylo upnutí vzorku do přípravku a následné nastavení přiměřených svařovacích parametrů, tj. svařovacího proudu a rychlosti svařování. Bylo provedeno několik zkušebních svarů, než se dosáhlo požadované kvality pro reprezentativní svary. Dále se pomocí plíšek rozdílné tloušťky odměřovala vzdálenost elektrody od materiálu (obr 22). Některé odměřovací plíšky byly přiloženy na sebe, aby se dosáhlo širšího spektra měření. Tloušťka plíšků je v tabulce 4.

Tab. 4 Tloušťky odměřovacích plíšků

Plíšek	1	2	3	4	5	6	2+6	3+6
Tloušťka s [mm]	1	1,5	2	2,5	3	5	6,5	7

### 3.2.1 Výběr svařovacího zařízení

Jako svařovací zařízení byla použita svařovací sestava, kterou je vybavena dílna VUT FSI. Svařovací zařízení je od firmy Fronius, typ Magic Wave 2600 a stejně tak zařízení pro mechanizované svařování podélným švem. Pro uchycení svařovací hlavy bylo použito nastavovací polohovadlo. Svařovací zařízení je snadno obsluhovatelné díky ovládacímu panelu s obrazovkou, na kterém byl nastaven svařovací proud. Technické údaje jsou uvedeny v přílohách. Jako ochranný plyn byl použit čistý argon. Svařovací zařízení, použitý plyn, display a přichystané pracoviště pro svařování je na obrázku 23.



Obr. 23 Svařovací sestava TIG, ovládací panel, přípravek se vzorkem



### 3.3 Svařování metodou MAG

Po dokončení svařování metodou TIG se navázalo metodou MAG. Zde se navařovalo na uhlíkovou ocel. U metody MAG byl použit ochranný plyn 82% Ar + 12% CO a přídatný materiál EN ISO 14341-A: G3Si1, o průměru 1,2 mm. Jedná se poměděný drát z produkce společnosti ESAB, určený pro svařování nelegovaných a nízko legovaných uhlík-manganových konstrukčních ocelí.

#### 3.3.1 Výběr svařovacího zařízení

Jako u předchozího svařování, se na digitální obrazovce svařovacího zařízení (obr 24) nastavil konstantní proud a rychlost svařování. Dále se pak na zařízení měnil parametr korekce délky svařovacího oblouku, kde záporné hodnoty značí zkrácení oblouku, nulová hodnota značí střední délku oblouku a kladná hodnota pak prodloužení oblouku. Ke

svařování byla použita svařovací sestava, kterou je vybavena dílna VUT FSI. Svařovací zařízení je od firmy Fronius typ TransPuls Synergic 4000 s podavačem drátu Fronius VR 4000. Stejným způsobem byla zapojena svařovací hlavice do nastavovacího polohovadla na zařízení pro podélné svařování. Sestava je na obr. 25.



Obr. 24 Obrazovka zařízení Fronius



Obr. 25 Svařovací sestava MAG

### 3.4 Rozbor vzorků

Vzorky byly očíslovány a označeny. Mezi jednotlivými návary byl vzorek nechán vychladnout, následně bylo pokračováno dalším svarem. Kvůli velkému množství vzorků se uvádí jen reprezentativní příklady vždy prvního vzorku dané metody a materiálu. Obrázky dalších vzorků budou připojeny v příloze této práce. Vzorky byly rozřezány na dělicí pile a na metalografické brusce vybroušeny.

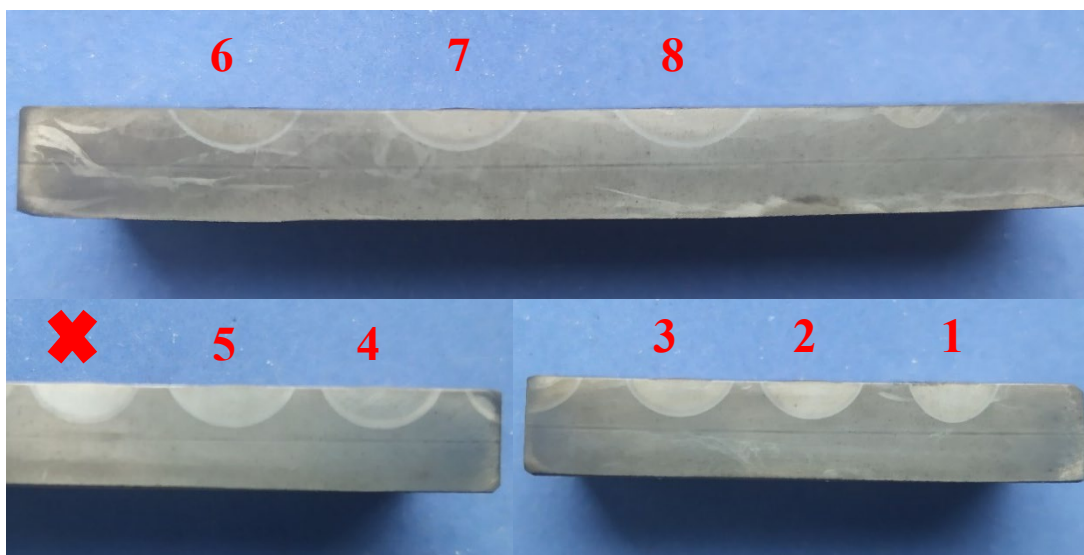
Tab. 5 Parametry svařování nízkouhlíkové oceli metodou TIG

Parametry svařování: nízkouhlíková ocel svařování metodou TIG					
Číslo vzorku	Proud [A]	Napětí [V]	Délka oblouku [mm]	Ochranný plyn	Rychlost svařování [cm/min]
1	149	17,7	1	Ar 4.6	konstantní 20 cm/min
2	151	19,8	1,5		
3	151	20,5	2		
4	151	21	2,5		
5	151	21,5	3		
6	151	22,5	5		
7	151	23,4	6,5		
8	151	23,8	7		



Obr. 26 Návary po dokončení svařování uhlíkové oceli



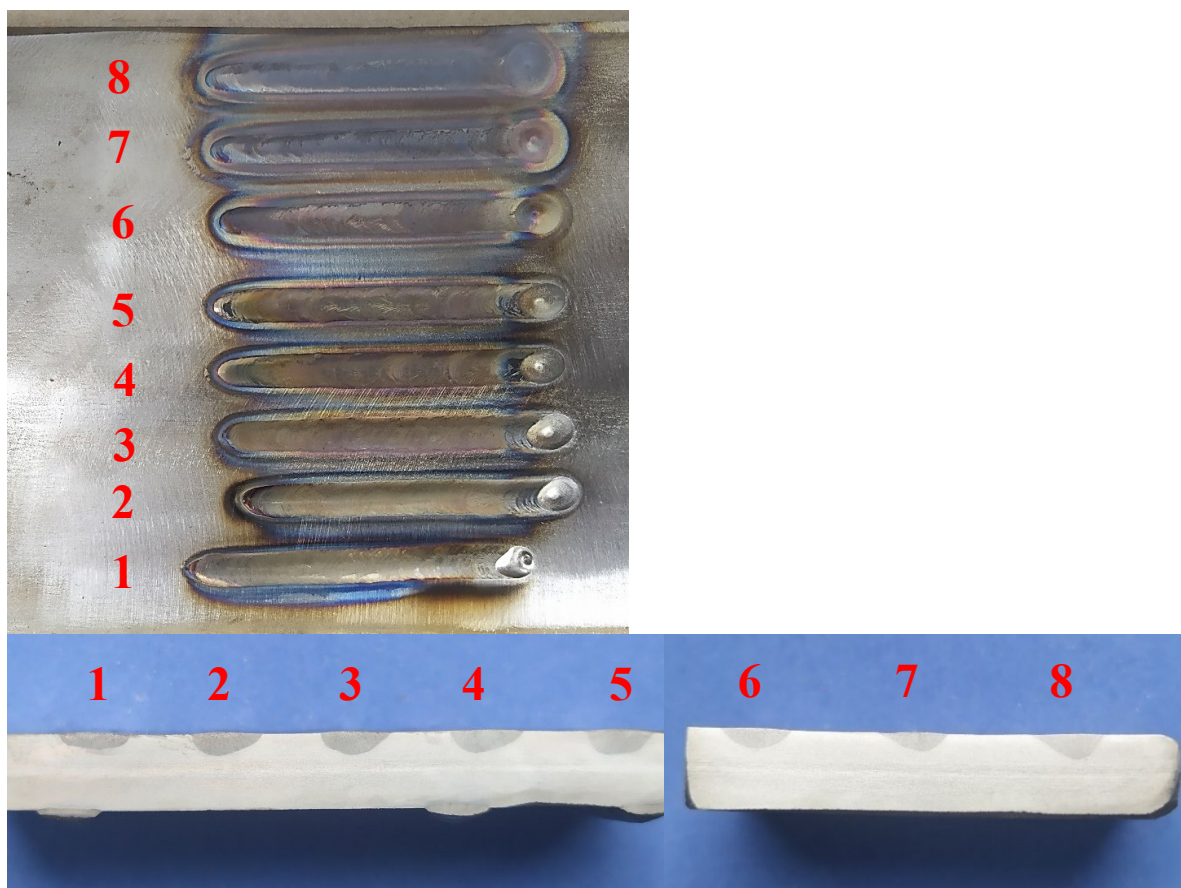


Obr. 27 Vzorky připravené pro mikroskopování

Na obrázku 26 je ukázán plech s návary po dokončení svařování. Lze vidět i pokusné svary a svary zatížené hrubou chybou. Na obrázku 27 jsou vidět vzorky po leptání a připravené pro focení. Profil svaru je relativně souměrný a lze okem pozorovat tepelně ovlivněnou oblast.

Tab. 6 Parametry svařování austenitické korozivzdorné oceli metodou TIG

<b>Parametry svařování:</b> <b>korozivzdorná ocel</b> svařování metodou TIG					
Číslo vzorku	Proud [A]	Napětí [V]	Délka oblouku [mm]	Ochranný plyn	Rychlost svařování [cm/min]
1	150	12,1	1	Ar 4.6	konstantní 20 cm/min
2	150	19,6	1,5		
3	150	20,1	2		
4	152	20,2	2,5		
5	152	20,6	3		
6	152	21,5	5		
7	152	22,3	6,5		
8	152	22,5	7		

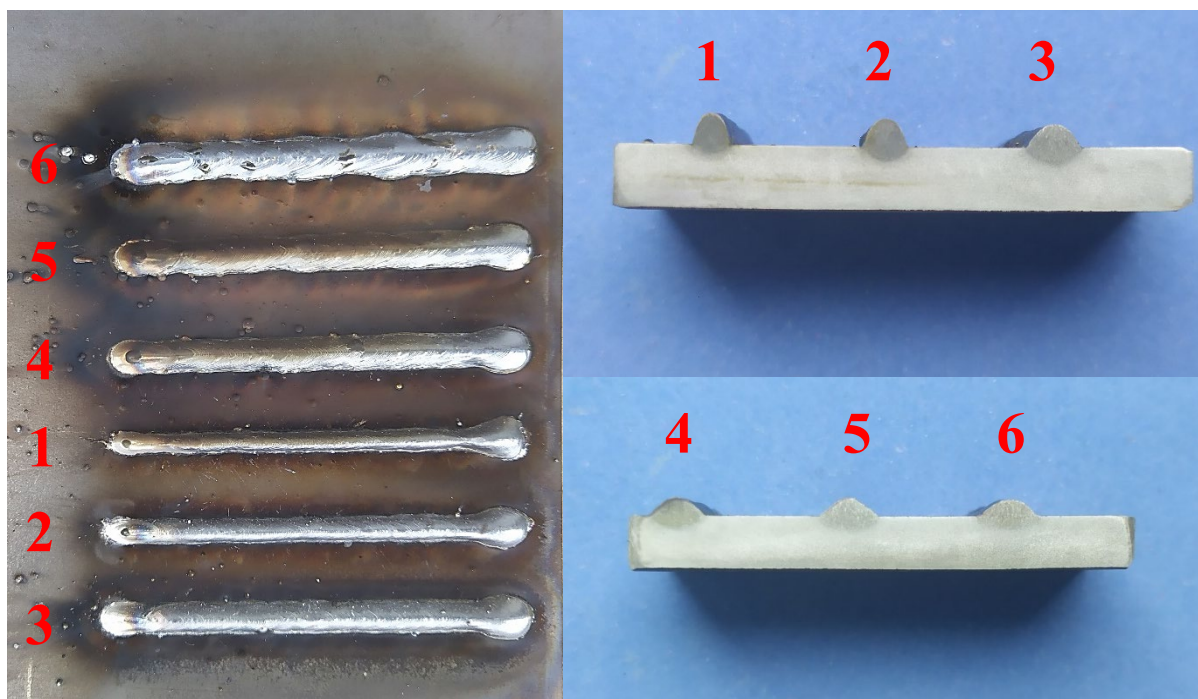


Obr. 28 Návary korozivzdorné oceli, vzorky pro mikroskopování

Obrázek 28 ukazuje návary metody TIG korozivzdorné oceli. Svarová housenka je u těchto svarů čistá a vzhledná. U naleptaných vzorků je profil svaru nepravidelný. Nelze zde pozorovat tepelně ovlivněnou oblast.

Tab. 7 Parametry svařování metodou MAG

<b>Parametry svařování</b> uhlíková ocel <b>svařování metodou MAG</b>					
Číslo vzorku	Proud [A]	Napětí [V]	Korekce oblouku	Ochranný plyn	Rychlost svařování [cm/min]
1	142	10,6	-29	Ar + 18% CO <sub>2</sub>	50 cm/min
2	131	12,2	-20		
3	123	16,4	0		
4	128	17,8	10		
5	128	19,4	20		
6	113	21,3	30		



Obr. 29 Návary metodou MAG, vzorky pro mikroskopování

U metody MAG jsou kolem návarů na plechu stopy po rozstříku kovu. Svar je méně vzhledný než u předchozích metod. Návary jsou díky přídavnému materiálu a parametrům svařování poměrně vysoké. To jde také vidět na obrázku profilu svarů (obr. 29).

### 3.5 Výsledky a vyhodnocení vzorků

Výpočet vneseného tepla do svarové lázně.

$$Q = \frac{\eta \cdot I \cdot U}{v_s \cdot 1000} \quad (3.1)$$

kde:  $Q$  [KJ/mm] vnesené teplo  
 $I$  [A] svařovací proud  
 $U$  [V] svařovací napětí  
 $v_s$  [mm/s] svařovací rychlost  
 $\eta$  [-] účinnost svařovací metody

Vzorový výpočet pro 1. vzorek metody TIG u uhlíkové oceli

$$Q = \frac{\eta \cdot I \cdot U}{v_s \cdot 1000} = \frac{0,65 \cdot 149 \cdot 17,7}{3,333 \cdot 1000} = 0,514 \text{ [KJ/mm]}$$

Vzorový výpočet pro 1. vzorek metody TIG u korozi-vzdorné oceli

$$Q = \frac{\eta \cdot I \cdot U}{v_s \cdot 1000} = \frac{0,65 \cdot 150 \cdot 12,1}{3,333 \cdot 1000} = 0,354 \text{ [KJ/mm]}$$

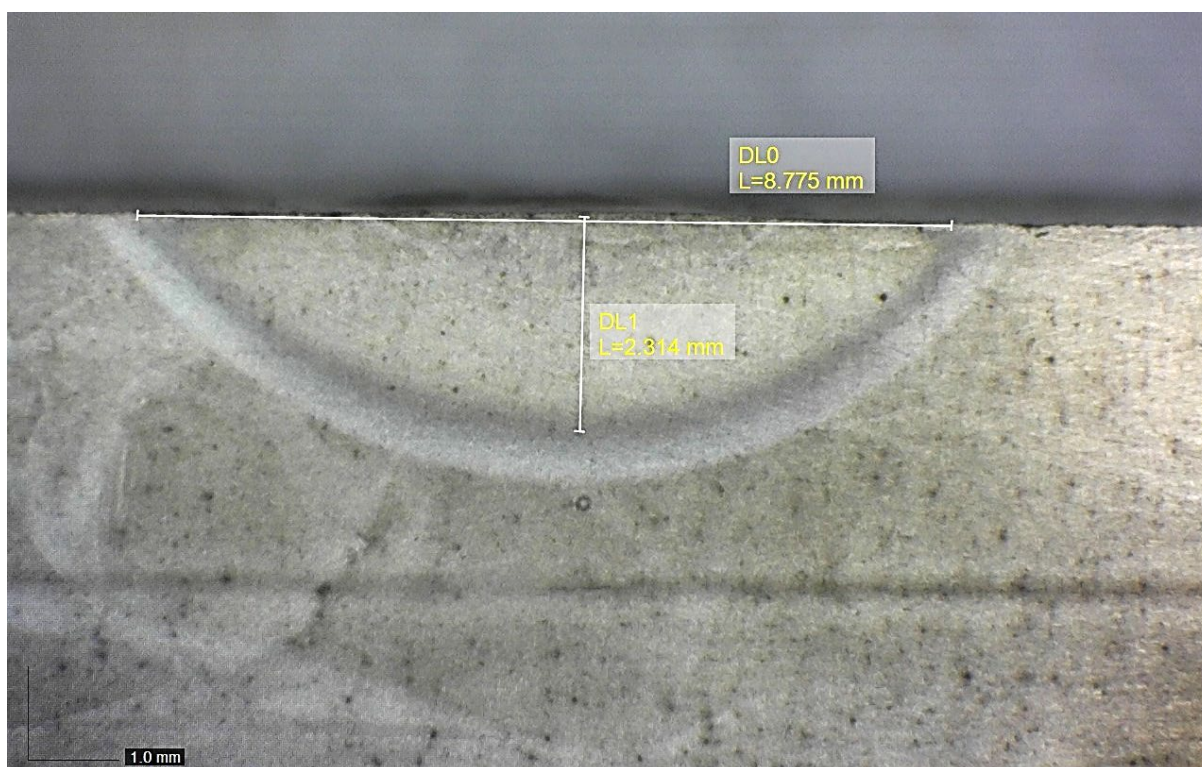
Vzorový výpočet pro 1. vzorek metody MAG u uhlíkové oceli

$$Q = \frac{\eta \cdot I \cdot U}{v_s \cdot 1000} = \frac{0,8 \cdot 142 \cdot 10,6}{8,333 \cdot 1000} = 0,144 \text{ [KJ/mm]}$$



Tab. 8 Výsledky ze vzorků pro uhlíkovou ocel

Výsledky ze vzorků Metoda TIG Uhlíková ocel						
Číslo vzorku	Průvar [mm]	Výška svaru [mm]	Šířka svaru [mm]	Obsah [mm <sup>2</sup> ]	Vnesené teplo Q [KJ/mm]	Délka oblouku [mm]
1	2,31	-	8,78	14,64	0,514	1
2	2,56	-	7,38	13,76	0,583	1,5
3	2,48	-	8,23	14,41	0,604	2
4	2,3	-	8,83	14,68	0,618	2,5
5	2,66	-	7,21	13,71	0,633	3
6	2,68	-	8,03	15,71	0,663	5
7	2,73	-	8,2	16,17	0,689	6,5
8	2,83	-	6,25	12,67	0,701	7

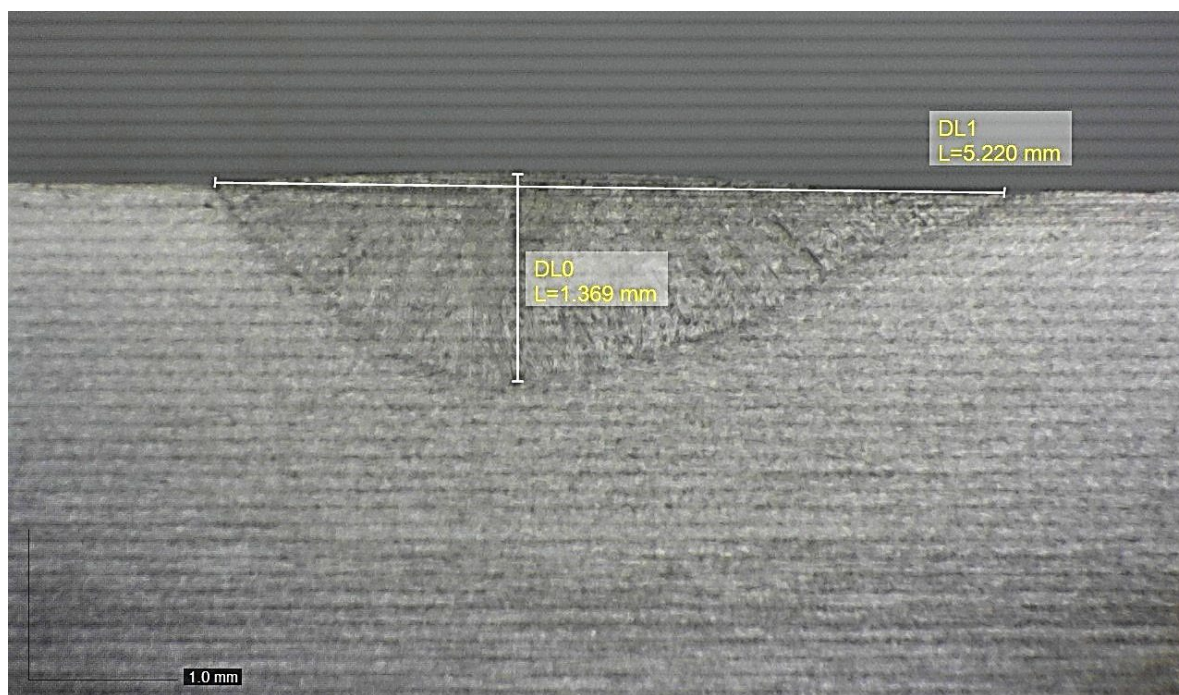


Obr. 30 Makrosnímek vzorku č.1 pro uhlíkovou ocel TIG

Hlubší a vzhledově lepší svar. U makrosnímku na obrázku 31 je dobře rozlišitelná tepelně ovlivněná oblast.

Tab. 9 Výsledky ze vzorků pro korozivzdornou ocel

<b>Výsledky ze vzorků</b> <b>Metoda TIG</b> <b>Korozivzdorná ocel</b>						
Číslo vzorku	Průvar [mm]	Výška svaru [mm]	Šířka svaru [mm]	Obsah [mm <sup>2</sup> ]	Vnesené teplo Q [KJ/mm]	Délka oblouku [mm]
1	1,37	-	5,22	4,44	0,354	1
2	1,5	-	5,75	5,66	0,573	1,5
3	1,38	-	5,76	6,4	0,588	2
4	1,89	-	5,27	5,87	0,599	2,5
5	1,93	-	5,96	8,08	0,611	3
6	1,96	-	5,92	7,91	0,637	5
7	1,97	-	5,64	7,93	0,661	6,5
8	2,13	-	5,76	8,94	0,611	7

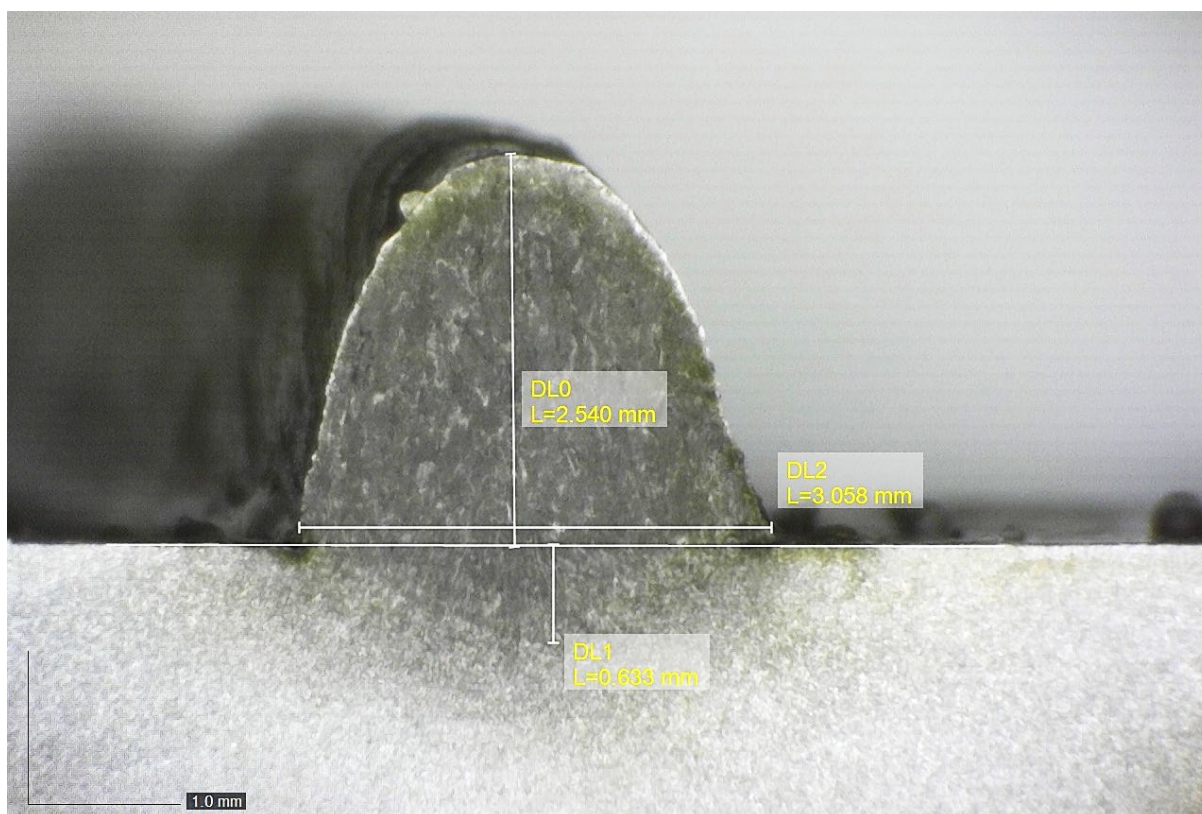


Obr. 31 Makrosnímek vzorku č.1 pro korozivzdornou ocel TIG

Na obrázku 30 lze v makrosnímku vidět poměrně mělký svar. Celkově austenitická korozivzdorná ocel má mělkší a objemově menší svary s porovnáním u uhlíkové oceli. Na mikro snímky se použil mikroskop s kamerou pro funkci vyfocení zkoumaného objektu, která byla přímo napojená na počítač, kde probíhala editace.

Tab. 10 Výsledky ze vzorků pro uhlíkovou ocel, metoda MAG

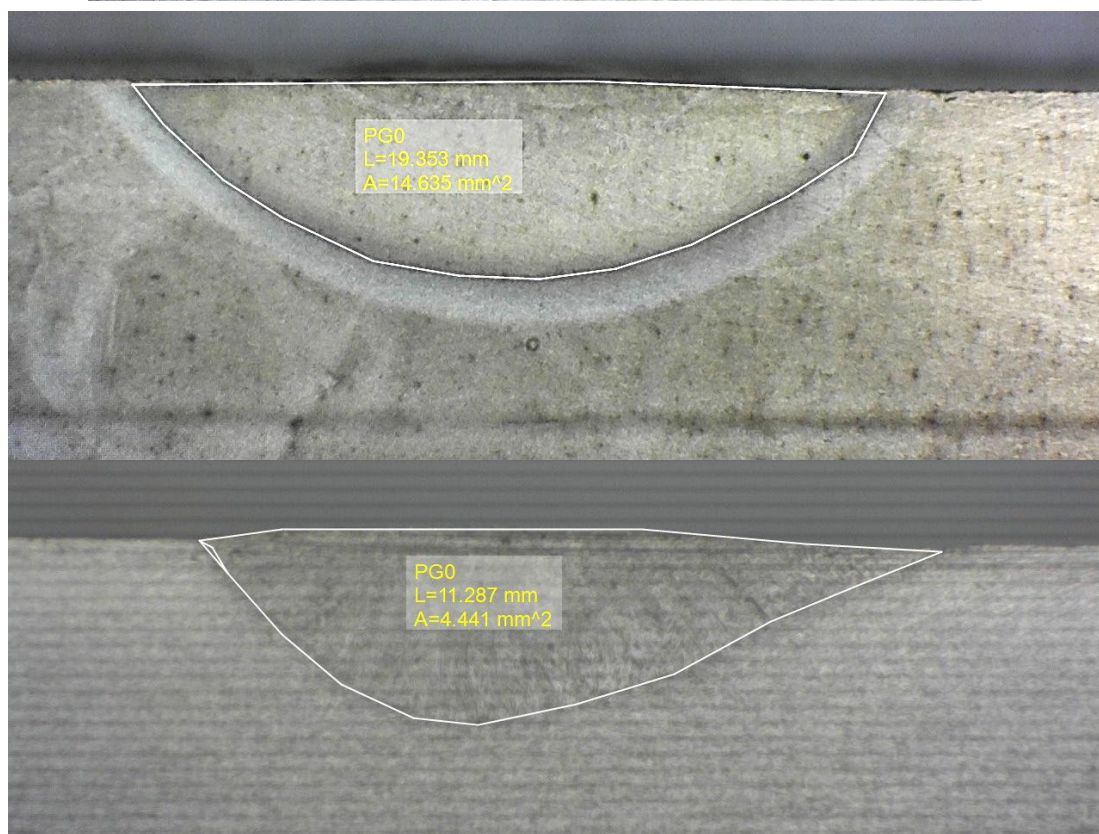
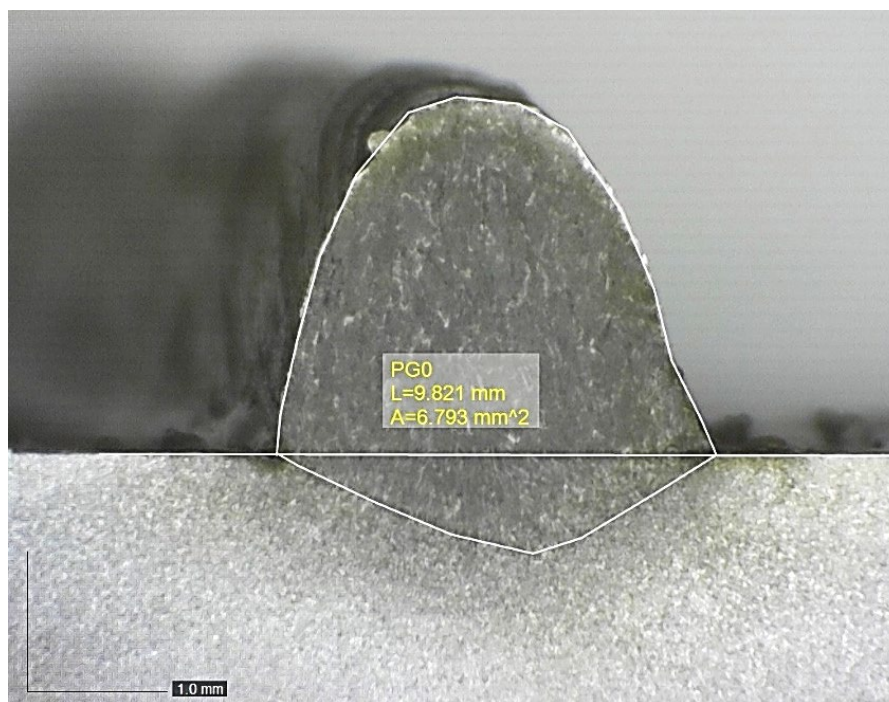
Výsledky ze vzorků Metoda MAG Uhlíková ocel						
Číslo vzorku	Průvar [mm]	Výška svaru [mm]	Šířka svaru [mm]	Obsah [mm <sup>2</sup> ]	Vnesené teplo Q [KJ/mm]	Korekce délky oblouku
1	0,63	2,54	3,06	6,79	0,144	-29
2	0,91	2,27	3,49	7,69	0,153	-20
3	1,02	1,83	4,2	8,34	0,194	0
4	0,99	1,74	5,16	9,59	0,219	10
5	1	1,77	5,47	9,79	0,238	20
6	1,32	1,58	5,61	11,33	0,231	30



Obr. 32 Makrosnímek vzorku č.1 pro metodu MAG

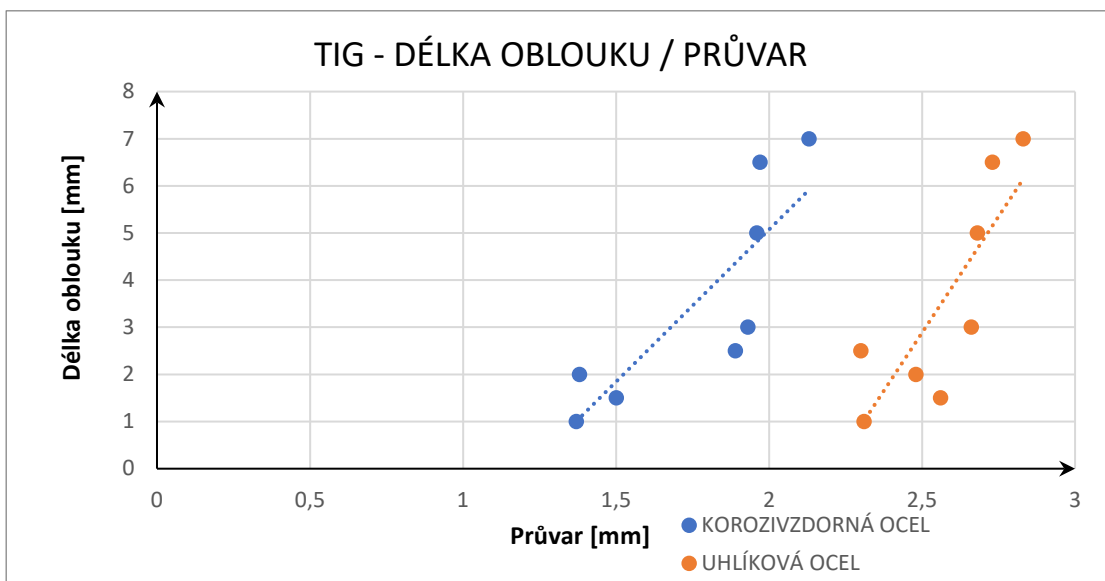
Vysoký svar a dobré provaření. Výška svaru začala klesat se zvyšující se korekcí elektrického oblouku. Naopak šířka svaru a průvar vrůstaly.





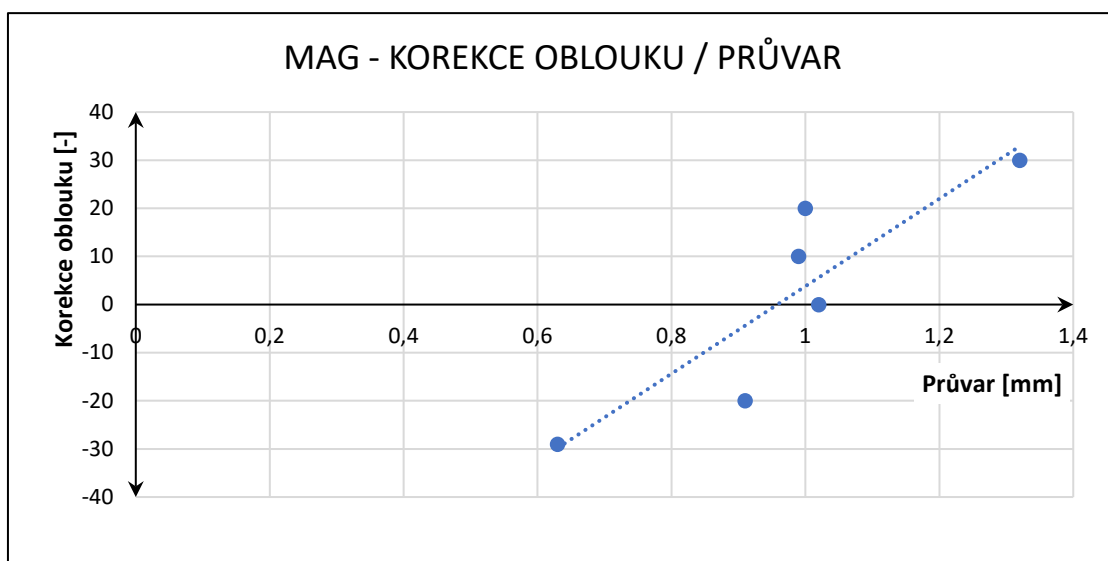
Obr. 33 Makrosnímky s vypočítanými obsahy svarů

Na obrázku 33 jsou vypočítané obsahy profilů svarů pomocí programu na editaci makrosnímků. Je zde reprezentován vždy první vzorek z každého materiálu a metody.



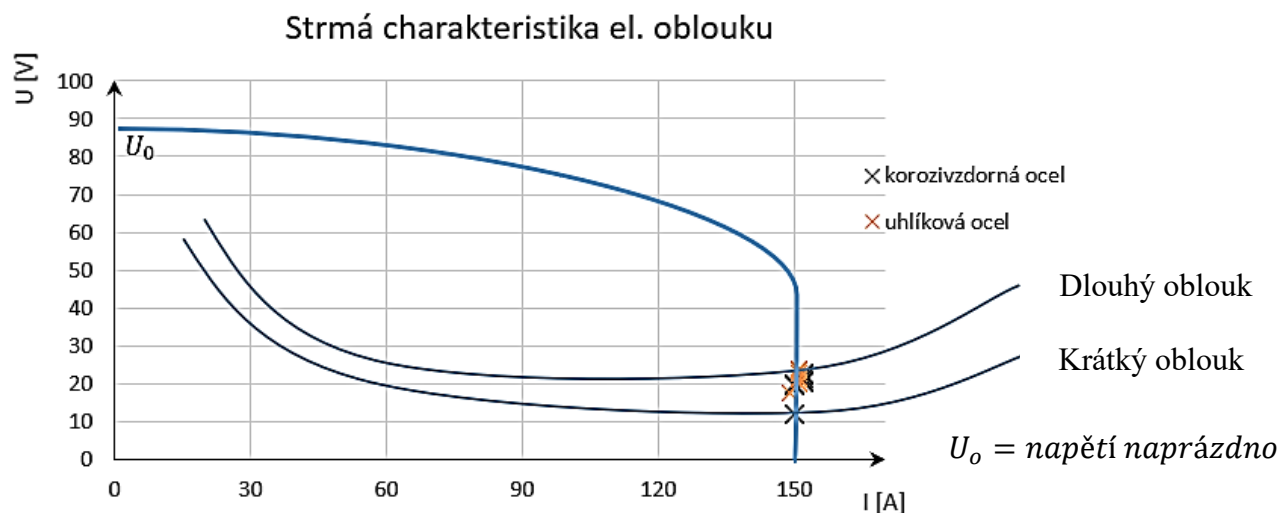
Obr. 34 Graf závislosti délky oblouku na hloubku svaru

Z naměřených dat byly sestrojeny grafy (obr. 34) závislosti délky oblouku na průvaru oceli. Ačkoliv není závislost přímá, z grafů lze usoudit, že za konstantní rychlosti svařování a konstantního proudu se bude ze zvětšujícím se obloukem zvedat i hloubka průvaru. Ze získaných dat, lze také říci, že se zvětšující se délkou oblouku, bude vzrůstat i šířka svaru.



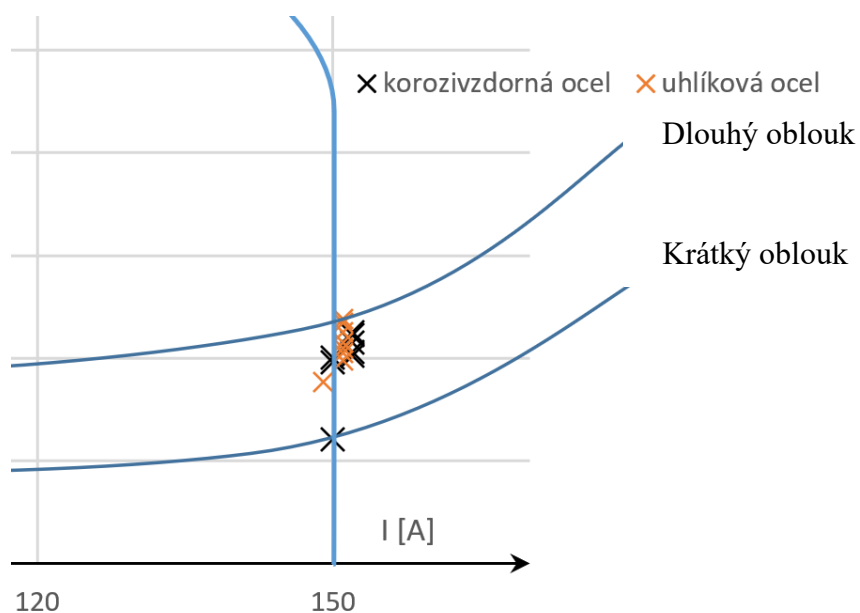
Obr. 35 Graf závislosti korekce délky oblouku na hloubku svaru

U metody MAG se proud snižoval tím více, čím byla zvětšována délka oblouku. Proud byl měněn zdrojem. Ale i u tohoto svařování je závislost mezi korekcí délky oblouku a hloubkou průvaru viditelná (35). Čím větší byla korekce, tím větší byl průvar.



Obr. 36 Graf strmé charakteristiky el. oblouku

Na obr. je ukázána strmá charakteristika el. oblouku. Při změně délky oblouku, např. vinou nerovnosti povrchu materiálu, se nemění svařovací proud.



Obr. 37 Detail grafu strmé charakteristiky

## ZÁVĚRY

Zadáním a cílem této bakalářské práce bylo navrhnout a experimentem provést optimalizaci parametrů, jenž mají vliv na hloubku průvaru. Experiment byl proveden svařovací metodou TIG a po domluvě s vedoucím práce i metodou MAG. Práce byla zaměřena na hodnocení vlivu délky elektrického oblouku na hloubku průvaru u uhlíkové a korozi-vzdorné oceli.

Po svaření všech částí byly na dělicí pile připraveny vzorky pro metalografické výbrusy, kvůli zviditelnění struktury materiálu. Pomocí několika kroků v procesu přípravy metalografických vzorků, byly vzorky připraveny pro vyhodnocení struktury, která byla realizována přes mikroskop se zabudovaným snímacím zařízením.

Z uhlíkové i korozi-vzdorné oceli bylo připraveno 8 svarů metodou TIG a 6 svarů uhlíkové oceli metodou MAG. Po shrnutí výsledků lze u metody TIG konstatovat, že při konstantním proudu a svařovací rychlosti, se ze zvětšujícím se obloukem zvětšuje hloubka závaru. Korozi-vzdorná ocel měla znatelně menší hloubku průvaru oproti uhlíkové oceli. U metody MAG se na zařízení dala měnit pouze korekce oblouku a zdroj vykazoval synergii svařovacího zařízení. Svařovací proud a napětí se po nastavení upravilo automaticky. Zde byl vliv délky el. oblouku nejlépe pozorovatelný, jak na hloubce závaru, tak na převýšení svaru. Vlivem měnícího se napětí se také značně zvětšovala šířka svarové housenky. Se zvětšujícím se obloukem se zvedala hloubka závaru, klesalo převýšení svaru a rozšiřovala se svarová housenka. Z naměřených hodnot byly sestaveny grafy závislosti délky el. oblouku na hloubku průvaru. Tyto závislosti nebyly lineární, avšak z výsledků se dá říci, že se vrůstající délkou oblouku, se bude zvětšovat objem svarové lázně a průvar.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. Vyd. 3., dopl., v Akademickém nakl. CERM 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2683-7.
- [2] KOLEKTIV AUTORŮ, *Materiály a jejich svařitelnost: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. 2., upr. vyd. Ostrava: ZEROSS, 2001. ISBN 80-85771-85-3.
- [3] Laser Therm. *Laser Therm* [online]. Vejprnice, 2019 [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: <https://www.lasertherm.cz/technologie/roboticke-svarovani>
- [4] Svářečky-elektrody. *Svářečky-elektrody.cz* [online]. Příbram, 2019 [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: <https://www.svarecky-elektrody.cz/zakladni-metody-svarovani/t-87>
- [5] KOLEKTIV AUTORŮ, *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. Ostrava: ZEROSS, 2001. Svařování. ISBN 80-85771-81-0
- [6] MAJER, Lubomír. *Navrhování a posuzování svařovaných konstrukcí a tlakových zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. Ostrava: ZEROSS, 1999. ISBN isbn80-85771-70-5.
- [7] BARTÁK, Jiří. *Výroba a aplikované inženýrství ve svařování: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. Ostrava: ZEROSS, 2000. Svařování. ISBN 80-85771-72-1.
- [8] *Automig* [online]. Česko: Migatronic CZ, 2021 [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: <http://automig.cz/o-svarovani/metody/migmag-co2/>
- [9] *Filko* [online]. Opava: Filko, 2021 [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: <https://www.filko-opava.cz/zbozi/svarovaci-technika/migmag-svarecky/kitin-2040-mig-svarovaci-stroj-kuhtreiber/#>
- [10] *TechnoX* [online]. Chicago, 2021 [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: <https://www.technoxmachine.com/blog/mig-vs-tig-welding/>
- [11] *Fronius* [online]. Praha 10, 2021 [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: <https://www.fronius.com/cs-cz/czech-republic/perfect-welding/svet-svarovani/svaovn-tig>
- [12] *Metaweld* [online]. Most, 2021 [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: <https://www.metaweld.cz/svareci-technika-1/svarovaci-horaky/nahradni-dily-k-horakum-mig/pruvlaky/>
- [13] *Svarecikukla* [online]. 2021 [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: <https://www.svarecikukla.cz/blog/wolframove-elektrody-pouziti-a-brouseni/>
- [14] KUBÍČEK, Jaroslav. *Technologie II. - svařování: Základní metody tavného svařování*. Brno, 2006. Dostupné také z: <http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/studium/index.php?stranka=opory>
- [15] Svařování elektrickým obloukem v ochranných atmosférách: Druhy svařovacího oblouku. ELUC: *Svařování* [online]. [cit. 2021-05-21]. Dostupné z: <https://eluc.krolomoucky.cz/verejne/lekce/1807>
- [16] MORAVEC, Jaromír. Svařování tavící se elektrodou v ochranném plynu metody MIG/MAG: KURZY SVÁŘEČSKÝCH TECHNOLOGŮ A INŽENÝRŮ IWT / IWE. DOCPLAYER [online]. [cit. 2021-05-21]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/41120960-Svarovani-tavici-se-elektrodou-v-ochrannem-plynu-metody-mig-mag.html>
- [17] *Ocelaruvpruvodce* [online]. [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: [http://babca.cz/content/uploads/ocelaruv\\_pruvodce\\_2b.pdf](http://babca.cz/content/uploads/ocelaruv_pruvodce_2b.pdf)
- [18] *AK* [online]. AK [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: <http://www.ak1324.cz/jakost-1-4301/>

- [19] *Techportal* [online]. [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: [https://www.techportal.cz/searchcontent.phtml?getFile=2AXR\\_TUAMiBFGAgUc6BzY5pKR4a\\_RmSdJyeRJhvvhWt6GT3USXlrODF32bS3UUhLnzl00RA9x7p75N8MGgz73w](https://www.techportal.cz/searchcontent.phtml?getFile=2AXR_TUAMiBFGAgUc6BzY5pKR4a_RmSdJyeRJhvvhWt6GT3USXlrODF32bS3UUhLnzl00RA9x7p75N8MGgz73w)
- [20] *ASM handbook Welding, brazing and soldering* Volume 6. 10th edition. Materials Park: ASM International, 2003. ISBN 978-0871703828
- [21] HLAVINKA, Martin. *VÝROBA KONZOLY ODJEHLOVACÍHO STROJE*. Brno, 2018. Dostupné také z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=173136](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=173136). Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Jaroslav Kubíček.
- [22] ŠOULÁK, Petr. *POROVNÁNÍ TĚCH METOD SVAŘOVÁNÍ TIG, MAG A CMT*. Brno, 2017. Dostupné také z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=147888](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=147888). Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Jaroslav Kubíček.
- [23] Robotické svařování - LaserTherm. *Homepage - LaserTherm* [online]. Copyright © [cit. 26.02.2021]. Dostupné z: <https://www.lasertherm.cz/technologie/roboticke-svarovani>
- [24] Základní metody svařování | SVÁŘEČKY-ELEKTRODY.CZ. *SVÁŘEČKY-ELEKTRODY.CZ - profesionální e-shop se svařovací technikou* [online]. Dostupné z: <https://www.svarecky-elektrody.cz/zakladni-metody-svarovani/t-87>
- [25] VLACH, Jan. *VLIV SVAŘOVACÍCH PARAMETRŮ NA KVALITU A MECHANICKÉ VLASTNOSTI SVAŘOVÉHO SPOJE*. Brno, 2019. Dostupné také z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=192148](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=192148). Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Jaroslav Kubíček.
- [26] *Fronius* [online]. [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: [http://www.froweld.cz/fotky3812/fotov/d\\_d\\_ps\\_1208MW+TT-2500---3000.pdf](http://www.froweld.cz/fotky3812/fotov/d_d_ps_1208MW+TT-2500---3000.pdf)
- [27] *Svarecky.info* [online]. [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: <https://www.svarecky.info/data/dokumenty/navody/fronius/navod-fronius-tps-2700-3200-4000-5000.pdf>

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

<b>Symbol</b>	<b>Popis</b>	<b>Jednotka</b>
I	svařovací proud	[A]
I <sub>p</sub>	impulsní proud	[A]
I <sub>z</sub>	základní proud	[A]
MAG	metal active gas	[-]
Q	tepelný příkon	[kJ.mm <sup>-1</sup> ]
t <sub>c</sub>	celkový čas impulsního cyklu	[s]
t <sub>p</sub>	doba trvání pulsního proudu	[s]
t <sub>z</sub>	doba trvání základního proudu	[s]
TIG	tungsten inert gas	[-]
U	svařovací napětí	[V]
v	svařovací rychlost	[mm.s <sup>-1</sup> ]
WIG	wolfram inert gas	[-]



## SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obr. 1 Robotizované svařování, svařování metodou MAG a TIG [3][4] .....	9
Obr. 2 Schéma svařování metodou TIG [4] .....	10
Obr. 3 Konstrukce svařovacího systému TIG [11] .....	10
Obr. 4 Přímé a nepřímé zapojení, střídavá polarita [4] .....	11
Obr. 5 Průběh impulsního proudu [2] .....	12
Obr. 6 Graf hustoty plynů [14] .....	13
Obr. 7 Schéma zapojení metody MAG [8] .....	14
Obr. 8 Způsoby přenosu kovu [14] .....	15
Obr. 9 Krátký zkratový oblouk [14] .....	15
Obr. 10 Přechodový oblouk [15] .....	16
Obr. 11 Sprchový oblouk [14] .....	16
Obr. 12 Průběh proudu při impulsním svařování [1] .....	17
Obr. 13 Impulzní oblouk [14] .....	17
Obr. 14 Rotující oblouk [14] .....	18
Obr. 15 Profil svaru v závislosti na napětí [14] .....	18
Obr. 16 Profil svaru v závislosti na proudu [14] .....	19
Obr. 17 Výlet drátu z průvlaku .....	20
Obr. 18 Vliv délky oblouku na svar [14] .....	20
Obr. 19 Plochá charakteristika el. oblouku [15] .....	20
Obr. 20 Polohy vedení hořáku [16] .....	21
Obr. 21 Vzorek po odepnutí z přípravku .....	23
Obr. 22 Plíšky různé tloušťky .....	23
Obr. 23 Svařovací sestava TIG, ovládací panel, přípravek se vzorkem .....	24
Obr. 24 Obrazovka zařízení Fronius .....	25
Obr. 25 Svařovací sestava MAG .....	25
Obr. 26 Návary po dokončení svařování uhlíkové oceli .....	26
Obr. 27 Vzorky připravené pro mikroskopování .....	27
Obr. 28 Návary korozivzdorné oceli, vzorky pro mikroskopování .....	28
Obr. 29 Návary metodou MAG, vzorky pro mikroskopování .....	29
Obr. 30 Makrosnímek vzorku č.1 pro uhlíkovou ocel TIG .....	30
Obr. 31 Makrosnímek vzorku č.1 pro korozivzdornou ocel TIG .....	31
Obr. 32 Makrosnímek vzorku č.1 pro metodu MAG .....	32
Obr. 33 Makrosnímky s vypočítanými obsahy svarů .....	33
Obr. 34 Graf závislosti délky oblouku na hloubku svaru .....	34
Obr. 35 Graf závislosti korekce délky oblouku na hloubku svaru .....	34
Obr. 36 Graf strmé charakteristiky el. oblouku .....	35
Obr. 37 Detail grafu strmé charakteristiky .....	35



## SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Wolframové elektrody [13] .....	12
Tab. 2 Chemické složení a mechanické vlastnosti oceli S355JR [17].....	22
Tab. 3 Chemické složení a mechanické vlastnosti oceli 1. 4301 [18], [19] .....	23
Tab. 4 Tloušťky odměřovacích plíšků .....	24
Tab. 5 Parametry svařování nízkouhlíkové oceli metodou TIG .....	26
Tab. 6 Parametry svařování austenitické korozivzdorné oceli metodou TIG.....	27
Tab. 7 Parametry svařování metodou MAG .....	28
Tab. 8 Výsledky ze vzorků pro korozivzdornou ocel .....	31
Tab. 9 Výsledky ze vzorků pro uhlíkovou ocel .....	30
Tab. 10 Výsledky ze vzorků pro uhlíkovou ocel, metoda MAG.....	32

## **SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha 1 Technické údaje oceli 1 4301

Příloha 2 Technické údaje oceli S355JR

Příloha 3 Technické údaje Magic Wave 2600

Příloha 4 Technické údaje Transpuls synergic 4000

1.4301		Cr-Ni austenitická ocel odolná korozi				X5CrNi18-10	
Číselné označení						Značka	
Chemické složení [hm. %] <sup>7)</sup>							
C	Si	Mn	P	S <sup>1)</sup>	Cr	Ni	N <sup>8)</sup>
max 0,07	max 1,00	max 2,00	max 0,045	max 0,015	17,5–19,5	8,00–10,5	max 0,11
Normy EN							
[1] 10088-1,-2, -3		[6] 10222-5		[11] 10270-3		[16] 10312	
[2] 10028-7		[7] 10250-4		[12] 10272		[17] 10088-4,-5	
[3] 10151		[8] 10263-5		[13] 10294-2			
[4] 10216-5		[9] 10264-4		[14] 10296-2			
[5] 10217-7		[10] 10269		[15] 10297-2			
Mechanické vlastnosti							
Polotovary, norma		C <sup>2)</sup> [1][2][17]		H <sup>3)</sup> [1][2][17]		P <sup>4)</sup> [1][2][17]	
T <sup>5)</sup> [1][12][17]							
Rozměr t, d [mm]		≤ 8		≤ 13,5		≤ 75	
		≤ 160		>160 ≤ 250			
Stav		po rozpouštěcím žháním (+AT)					
Mez kluzu R <sub>p0,2</sub> [MPa] min		230		210		190	
Mez kluzu R <sub>p1,0</sub> [MPa] min		260		250		225	
Mez pevnosti R <sub>m</sub> [MPa]		540–750		520–720		500–700	
Tažnost A [%]	podél min	–				45	–
	příčně min	45				–	35
Nárazová práce KV [J]		podél min		–		100	–
		příčně min		–		60	60
KV <sup>-196</sup> [J]		příčně min		–		60	–

# OCELÁŘŮV PRŮVODCE PO GALAXII



## PLECHY BĚŽNÝCH JAKOSTÍ

CHEMICKÉ SLOŽENÍ									EN 10 025-2
Označení	Obsah C [% max.] pro jmenovitou tl. [mm]			Obsah prvků - ve hmotnosti [% max.]					
	≤ 16	> 16 ≤ 40	> 40	Si	Mn	P	S	N	Cu
S 235 JR	0,19	0,19	0,23	-	1,50	0,045	0,045	0,014	0,60
S 235 JO	0,19	0,19	0,19	-	1,50	0,040	0,040	0,014	0,60
S 235 J2	0,19	0,19	0,19	-	1,50	0,035	0,035	-	0,60
S 355 JR	0,27	0,27	0,27	0,60	1,70	0,045	0,045	0,014	0,60
S 355 JO	0,23	0,23	0,24	0,60	1,70	0,040	0,040	0,014	0,60
S 355 J2	0,23	0,23	0,24	0,60	1,70	0,035	0,035	-	0,60
S 355 K2	0,23	0,23	0,24	0,60	1,70	0,035	0,035	-	0,60

MECHANICKÉ VLASTNOSTI													
Označení	Minimální mez kluzu R <sub>eH</sub> [MPa] pro jmenovitou tl. [mm]									Pevnost v tahu R <sub>m</sub> [MPa] pro jmenovitou tl. [mm]			
	≤ 16	>16 ≤40	>40 ≤63	>63 ≤80	>80 ≤100	>100 ≤150	>150 ≤200	>200 ≤250	>250 ≤400	≥ 3 ≤100	>100 ≤150	>150 ≤250	>250 ≤400
S 235 JR	235	225	215	215	215	195	185	175	-	360 - 510	350 - 500	340 - 490	-
S 235 JO	235	225	215	215	215	195	185	175	-				-
S 235 J2	235	225	215	215	215	195	185	175	165				340 - 480
S 355 JR	355	345	335	325	315	295	285	275	-	470 - 630	450 - 600	450 - 600	-
S 355 JO	355	345	335	325	315	295	285	275	-				-
S 355 J2	355	345	335	325	315	295	285	275	265				450 - 600
S 355 K2	355	345	335	325	315	295	285	275	265				450 - 600

Označení	Orientační zkoušky	Minimální tažnost [%] L <sub>5</sub> = 5,65 √S <sub>0</sub> pro jmenovitou tl. [mm]							Zkušební teplota [°C]	Minimální nárazová práce KV [J]		
		≥ 3,0 ≤ 40	> 40 ≤ 63	> 63 ≤ 100	> 100 ≤ 150	> 150 ≤ 250	> 250 ≤ 400			≤ 150	> 150 ≤ 250	> 250 ≤ 400
S 235 JR	I	26	25	24	22	21	-	20	27	27	-	27
S 235 JO	-	-	-	-	-	-	-	0				
S 235 J2	I	24	23	22	22	21	21 [I+]	-20				
S 355 JR	I	22	21	20	18	17	-	20	27	27	-	27
S 355 JO	-	-	-	-	-	-	-	0				
S 355 J2	-	-	-	-	-	-	17 [I+]	-20				
S 355 K2	I	20	19	18	18	17	17 [I+]	-20				

## Příloha 3 Technické údaje Magic Wave 2600 [26]

### TECHNICKÉ ÚDAJE

Svařovací zdroj	MW 2500	MW 2500 MV	MW 3000	MW 3000 MV	TT 2500	TT 2500 MV	TT 3000	TT 3000 MV
Síťové napětí 50-60 Hz	3×400 V	3×200-240 V 3×400-460 V	3×400 V	3×200-240 V 3×400-460 V	3×400 V	3×200-240 V 3×400-460 V	3×400 V	3×200-240 V 3×400-460 V
		1×200-240 V		1×200-240 V		1×200-240 V		1×200-240 V
Tolerance síťového napětí	± 15 %	± 10 %	± 15 %	± 10 %	± 15 %	± 10 %	± 15 %	± 10 %
Síťové jistiění, zpožděný typ								
3×400 (460) V 16 A	16 A	16 A	16 A	16 A	16 A	16 A	16 A	16 A
3×230 V	32 A	32 A	32 A	32 A	32 A	32 A	32 A	32 A
1×230 V	32 A	32 A	32 A	32 A	32 A	32 A	32 A	32 A
Trvalý primární výkon (100 % DZ)								
3×400 (460) V 4,5 kVA	4,5 kVA	4,5 kVA	5,5 kVA	5,5 kVA	4,5 kVA	4,4 kVA	6,1 kVA	6,1 kVA
3×230 V	4,1 kVA	4,1 kVA	4,7 kVA	4,7 kVA	4,1 kVA	4,1 kVA	5,5 kVA	5,5 kVA
1×230 V	4,1 kVA	4,1 kVA	4,7 kVA	4,7 kVA	4,1 kVA	4,1 kVA	5,5 kVA	5,5 kVA
Účinnost	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
Svařovací proud 3fáz. napájení WIG 3-250 A	3-250 A	3-250 A	3-300 A	3-300 A	3-250 A	3-250 A	3-300 A	3-300 A
Elektroda 10-250 A	10-250 A	10-250 A	10-300 A	10-300 A	10-250 A	10-250 A	10-300 A	10-300 A
Svařovací proud 1fáz. napájení WIG 3-220 A	3-220 A	3-220 A	3-220 A	3-220 A	3-220 A	3-220 A	3-220 A	3-220 A
Elektroda 10-180 A	10-180 A	10-180 A	10-180 A	10-180 A	10-180 A	10-180 A	10-180 A	10-180 A
Svařovací proud při 10 min/40 °C								
3×400 V 40% DZ 250 A	40% DZ 250 A	40% DZ 250 A	35 % DZ 300 A	35 % DZ 300 A	50% DZ 250 A	50% DZ 250 A	50% DZ 300 A	50% DZ 300 A
3×460 V při MV 100% DZ 170 A	100% DZ 170 A	100% DZ 170 A	100 % DZ 190 A	100 % DZ 190 A	100% DZ 190 A	100% DZ 190 A	100% DZ 240 A	100% DZ 240 A
3×230 V 35% DZ 250 A	35% DZ 250 A	35% DZ 250 A	30% DZ 300 A	30% DZ 300 A	45% DZ 250 A	45% DZ 250 A	45% DZ 300 A	45% DZ 300 A
100% DZ 160 A	100% DZ 160 A	100% DZ 160 A	100% DZ 170 A	100% DZ 170 A	100% DZ 180 A	100% DZ 180 A	100% DZ 220 A	100% DZ 220 A
1×230 V 45 % DZ 220 A	45 % DZ 220 A	45 % DZ 220 A	40% DZ 220 A	40% DZ 220 A	55% DZ 220 A	55% DZ 220 A	55% DZ 220 A	55% DZ 220 A
100 % DZ 150 A	100 % DZ 150 A	100 % DZ 150 A	100% DZ 150 A	100% DZ 150 A	100 % DZ 170 A	100 % DZ 170 A	100% DZ 190 A	100% DZ 190 A
Napětí naprázdno	89 V	89 V	89 V	89 V	85 V	85 V	85 V	85 V
Jmenovité pracovní napětí WIG 10,1-20,0 V	10,1-20,0 V	10,1-20,0 V	10,1-22,0 V	10,1-22,0 V	10,1-20,0 V	10,1-20,0 V	10,1-22,0 V	10,1-22,0 V
Elektroda 20,4-30,0 V	20,4-30,0 V	20,4-30,0 V	20,4-32,0 V	20,4-32,0 V	20,4-30,0 V	20,4-30,0 V	20,4-32,0 V	20,4-32,0 V
Zapalovací napětí (Up)* 10 kV	10 kV	10 kV	10 kV	10 kV	10 kV	10 kV	10 kV	10 kV
Chlazení/izolační třída AF/B	AF/B	AF/B	AF/B	AF/B	AF/B	AF/B	AF/B	AF/B
Rozměry d/š/v mm	560/250/435	560/250/435	560/250/435	560/250/435	560/250/435	560/250/435	560/250/435	560/250/435
Hmotnost	26,6 kg	28,2 kg	28,1 kg	30,0 kg	24,2 kg	25,9 kg	24,2 kg	25,9 kg

**CE** **IP 23** \* Zařízení pro zapalování oblouku odpovídá normám pro manuální provoz.

Chladicí modul	FK 2500 FK 2500 FC	FK 2500 MV FK 2500 MV FC
Síťové napětí 50-60 Hz	400 V	200-240 V 400-460 V
Tolerance síťového napětí	± 10 %	± 10 %
Odběr proudu 50 Hz/60 Hz	0,6/0,7 A	0,6-1,4 A
Chladicí výkon Q=1l/min +25 °C	800 W	800 W
Chladicí výkon Q=1l/min +40 °C	500 W	500 W
Max. dodávané množství	3,5 l/min	3,5 l/min
Dopravní výška	35 m	35 m
Max. tlak čerpadla	4,2 baru	4,2 baru
Objem chladicího média	4 l	4 l
Krytí	IP 23	IP 23
Rozměry d/š/v	625/240/225 mm	625/240/225 mm
Hmotnost	9 kg	11,6 kg

Svařovací hořák	TTW 2500	TTW 3000
Svařovací proud AC	180 A	250 A
DC	250 A	300 A
Dovolené zatížení	40 %	60 %
Průměr elektrody	1,0-3,2 mm	1,0-3,2 mm
Hmotnost	0,47 kg	0,75 kg

Svařovací hořák	TTG 2200	TTG 2600
Svařovací proud AC	180 A	220 A
DC	220 A	260 A
Dovolené zatížení	35 %	35 %
Průměr elektrody	1,0-4,0 mm	1,0-4,0 mm
Hmotnost	0,96 kg	0,57 kg



# Příloha 4 Technické údaje Transpuls synergic 4000 [27]

## TS/TPS 4000

Síťové napětí	3 x 400 V		
Tolerance síťového napětí	± 15 %		
Frekvence sítě	50/60 Hz		
Síťové jištění	35 A zpožděný typ		
Trvalý primární proud (100 % DZ)			
Trvalý primární výkon	12,2 kVA		
Účinník	0,99		
Účinnost	88 %		
Rozsah svařovacího proudu			
	MIG/MAG	3 -400 A	
	Elektroda	10 -400 A	
	WIG	3 -400 A	
Svařovací proud při	10 min / 40 °C (104 °F)	50 % DZ	400 A
		60 % DZ	365 A
		100 % DZ	320 A
Svařovací napětí podle normované charakteristiky			
	MIG/MAG	14,2 -34,0 V	
	Elektroda	20,4 -36,0 V	
	WIG	10,1 -26,0 V	
Max. svařovací napětí	-		
Napětí naprázdno	70 V		
Krytí	IP 23		
Chlazení	AF		
Izolační třída	F		
Certifikace	CE, CSA		
Certifikace bezpečnostní třídy	S		
Rozměry d x š x v	625 x 290 x 475 mm		
	24,6 x 11,4 x 18,7 palců		
Hmotnost	35,2 kg		
	77,6 liber		